

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Кораблебудівний навчально науковий інститут

Кафедра Теорії та проєктування суден

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри



В.О. Нєкрасов

« » 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: Розробка проекту танкера вантажопідйомністю 76150 т

Виконав: студент 4111 групи

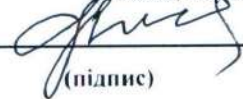


Головинський Д.О.

(підпис)

Керівник роботи:

(посада, науковий ступень вчене звання)



Кротов О.І.

(підпис)

Миколаїв – 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Кораблебудівний навчально науковий інститут

Кафедра _____ Теорії та проектування суден _____

Спеціальність _____ 135 «Суднобудування» _____

Освітньо-професійна програма _____ Кораблі та океанотехніка _____

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

Ястреба к.т.н. О.П.Ястреба

« » _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

студенту _____ Головинському Дмитру Олександровичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка проекту танкера вантажопідйомністю 76150 т

Керівник роботи Кротов О.І., канд. техн. наук, доцент кафедри ТПС НУК

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «_____»

202__ року №_____

2. Строк подання студентом роботи 18 серпня 2025 р. _____

3. Вихідні дані до роботи:

3.1. Вантажопідйомність (вантажомісткість) 76150 т

3.2. Вид вантажу (питома вага вантажу) 0,72 т/м³

3.3. Швидкість експлуатаційна 15 вуз

3.4. Клас судна за Правилами класифікаційного товариства КМ* Ісє4 2AUT1
tanker (oil)

3.5. Дальність та район плавання 15300 миль

3.6. Додаткові вимоги МОД, екіпаж – 24 чол.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які
потрібно розробити):

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 4.1. Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту.
- 4.2. Побудова теоретичного креслення.
- 4.3. Розрахунок елементів плавучості та початкової остійності.
- 4.4. Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн.
- 4.5. Обчислення координат ЦМ та удиферентування судна при: (100 % вантажу, 100 % запасів).
- 4.6. Перевірка вимог класифікаційного товариства до остійності судна.
- 4.7. Набір корпусу за Правилами класифікаційного товариства.
- 4.8. Перевірка загальної або місцевої міцності в'язей корпусу судна.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень):
 - 5.1. Теоретичне креслення.
 - 5.2. Гідростатичні криві.
 - 5.3. Діаграми остійності неушкодженого судна.
 - 5.4. Креслення загального розташування: боковий вид та план ВП.
 - 5.5. Конструктивний мідель-шпангоут.
6. Консультанти розділів роботи

№ з/п	Розділ	ПІБ та посада консультанта	Підпис, дата			
			завдання видав		завдання прийняв	
1	Початкове проектування (пп. 4.1-4.5)	Кротов О.І.	05.03.25р.		05.03.25р.	
2	Теорія корабля (п.4.6)	Пащенко Ю.М.	10.04.25р.		10.04.25р.	
3	Конструкція корпусу і перевірка загальної міцності (пп. 4.6-4.7)	Шарун Г.В.	20.04.25р.		20.04.25р.	

Дата видачі завдання _____ 2025 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання	При-мітки
1	Визначення основних елементів і характеристик проекту.	10.02.25р.	
2	Побудова теоретичного креслення.	15.02.25р.	
3.	Побудова гідростатичних кривих.	20.02.25р.	
4.	Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн. Обчислення координат центра мас та удиферентування судна.	05.03.25р.	
5.	Перевірка вимог класифікаційного товариства до остійності судна. Діаграма остійності судна.	20.03.25р.	
6.	Набір корпусу за Правилами класифікаційного товариства. Конструктивний мідель-шпангоут.	10.04.25р.	
7.	Перевірка загальної або місцевої міцності в'язей корпусу судна.	01.05.25р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки.	10.06.25р.	

Студент _____
Керівник роботи _____

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	3
ВСТУП.....	4
1.Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту.....	6
1.1 Розрахунок елементів проекту у першому наближенні.....	6
1.1.1 Розрахунок водотоннажності.....	6
1.1.2 Визначення характеристик форми корпусу.....	7
1.1.3 Розрахунок головних розмірів.....	8
1.2 Визначення на ЕОМ потужності та вибір марки головного двигуна.....	9
1.3 Визначення елементів проекту судна в другому наближенні.....	10
1.3.1 Розрахунок водотоннажності.....	10
1.3.2 Уточнення головних розмірів з урахуванням вимог до місткості, початкової остійності та плавності хитавиці.....	12
1.3.3 Розрахунок головних розмірів.....	13
1.4 Побудова теоретичного креслення і розрахунок елементів плавучості і початкової остійності.....	13
1.5. Побудова креслення загального розташування.....	14
1.6 Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн, розрахунок завантаження, визначення координат ЦМ.....	14
1.6.1 Початкова архітектурна розробка проекту.....	15
1.6.2 Розрахунки місткості проекту.....	16
1.7 Удиферентування і визначення посадки проекту.....	17
2. Перевірка вимог Правил Регістру України до остійності проекту.....	22
2.1 Визначення площі парусності і її координат.....	22
2.2 Розрахунок амплітуди хитавиці.....	22
2.3 Розрахунок кренувального і перекидального моменту.....	23
2.4 Розрахунок критерію погоди.....	24
2.5 Вимоги до параметрів діаграми статичної остійності і метацентричної висоти.....	26
3. Набір корпусу за Правилами класифікаційного товариства і перевірка загальної міцності.....	29
3.1 Вихідні дані.....	29

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2	Архітектурно-конструктивного тип судна, вибір шпациї і довжин відсіків.....	29
3.3	Вибір марки та категорії сталі.....	30
3.4	Креслення обводів мідель шпангоута.....	31
3.5	Розрахункові навантаження на корпус судна з боку моря.....	31
3.5.1.	Статичні навантаження.....	31
3.5.2.	Хвильові навантаження.....	31
3.5.3.	Сумарне навантаження на корпус з боку моря.....	32
3.6.	Стандарт загальної міцності.....	33
3.7.	Проектування та конструювання зовнішньої обшивки.....	35
3.7.1.	Проектування зовнішньої обшивки днища.....	35
3.8.	Набір днищового перекриття.....	36
3.8.1.	Проектування суцільних флорів.....	37
3.8.2.	Проектування вертикального кіля.....	38
3.8.3.	Проектування днищевих стрингерів і поздовжніх балок днища.....	39
3.8.4.	Проектування поздовжніх балок II дна.....	40
3.9.	Перевірка загальної поздовжньої міцності.....	40
	ВИСНОВКИ.....	43
	ДОДАТОК 1.....	45
	ДОДАТОК 2.....	46
	ДОДАТОК 3.....	47
	ДОДАТОК 4.....	48
	Список використаних джерел.....	49

Анотація

В дипломній роботі виконано розрахунок основних елементів і характеристик проекту танкера. За допомогою програми MaxSurf Modeler отримано 3D – модель корпусу проектного танкера. Отримано ординати для побудови теоретичного креслення та значення елементів плавучості і початкової остійності для побудови гідростатичних кривих. Виконано розрахунок місткості вантажних приміщень та цистерн. Обчислено координати центра мас та удиферентовано проект танкера.

В середовищі Maxsurf Stabiliti отримано діаграму статичної остійності судна. Виконана перевірка вимог класифікаційного товариства до остійності судна стосовно критерію погоди, параметрів діаграми статичної остійності і початкової метацентричної висоти.

Побудовані креслення загального розташування проекту танкера – боковий вид та план верхньої палуби.

У розділі з конструкції корпусу проведено опис архітектурно-конструктивного типу судна, вибір шпациї, вибір марки та категорії сталі. Визначені розрахункові навантаження на корпус судна з боку моря, розглянуто питання проектування та конструювання зовнішньої обшивки. Проведено перевірку загальної поздовжньої міцності, яка засвідчила її забезпеченість.

Ключові слова:

танкер, модель корпусу, теоретичне креслення. Плавучість, початкова остійність, діаграма статичної остійності, критерії остійності, конструкція корпусу, міцність.

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Abstract

The thesis has calculated the main elements and characteristics of the tanker project. Using the MaxSurf Modeler program, a 3D model of the hull of the designed tanker has been obtained. The ordinates for constructing a theoretical drawing and the values of buoyancy and initial stability elements for constructing hydrostatic curves have been obtained. The capacity of cargo spaces and tanks has been calculated. The coordinates of the center of mass have been calculated and the tanker project has been differentiated.

In the Maxsurf Stabiliti environment, the buoyancy and initial stability elements have been determined and a diagram of the static stability of the vessel has been obtained. The classification society's requirements for vessel stability in relation to the weather criterion and other criteria have been checked. A drawing of the general layout of the tanker project has been constructed.

In the section on the hull design, a description of the architectural and structural type of the vessel, the choice of spacing, and the choice of steel grade and category have been provided. The calculated loads on the ship's hull from the seaward side were determined, the issue of designing and constructing the outer shell was considered. The overall longitudinal strength was checked, which confirmed its adequacy.

Keywords:

tanker, hull model, theoretical drawing. Buoyancy, initial stability, static stability diagram, stability criteria, hull design, strength.

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Актуальність створення проекту крупнотоннажного танкера обумовлена в наш час необхідністю використання постійно зростаючого і великого обсягу перевезень нафтових вантажів.

Основними завданнями проектування танкера є забезпечення його економічної ефективності при перевезенні вантажу та забезпечення безпеки експлуатації і надійності, які досягаються виконанням вимог до морехідних якостей, таких як плавучість, ходовість, остійність, непотоплюваність, керованість і морехідність, а також до міцності корпусу.

Проект танкера також повинен відповідати вимогам Міжнародних організацій і національним Правилам Регістру судноплавства – Правилам Регістру України.

Метою даної дипломної роботи є розробка проекту танкера на стадії ескізного проектування, який би відповідав зазначеним вимогам плавучості, ходовості, остійності, непотоплюваності, морехідності і міцності корпусу.

Завданням даної роботи є:

- визначення в першому і другому наближенні головних розмірів і характеристик танкера;
- визначення потужності його головного двигуна;
- проведення розрахунків початкової остійності, вантажомісткості та удиферентування проекту танкера;
- проведення розрахунків остійності на великих кутах крену і перевірка вимог Правил Регістру України до критерію погоди, параметрів діаграми статичної остійності і метацентричної висоти.

Необхідно було провести розрахунки з конструкції корпусу, а саме – розрахувати елементи мідель-шпагоута, які б забезпечили поздовжню міцність корпусу проектного танкера у відповідності до Правил Регістру України.

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					24.ДР.6.135.4111.07.ПЗ.01							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
					Визначення основних елементів і характеристик процесу 24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01			Літ.	Арк.	Аркушів		
Студент		Головинський Д.О.										
Консульт.		Кротов О.І.			24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01			НУК		Арк.		
Керівник		Кротов ОІ.										
Зав. кафедр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								

1. Визначення основних елементів і характеристик проекту

1.1 Розрахунок елементів проекту у першому наближенні

1.1.1 Розрахунок водотоннажності

Для визначення водотоннажності прототипу складається алгебраїчне рівняння мас виду [1] :

$$\bar{\Delta} = \bar{P}_K + \bar{P}_{OB} + \bar{P}_{EY} + \bar{P}_{PB} + \bar{P}_3 + \bar{P}_B,$$

де $\bar{\Delta}$ – водотоннажність прототипу, т;

$\bar{P}_K$, $\bar{P}_{OB}$, $\bar{P}_{EY}$, $\bar{P}_{PB}$, $\bar{P}_3$, $\bar{P}_B$, – маса розділів навантаження: корпусу, обладнання, енергетичної установки, пального, води і масла, забезпечення, запасу водотоннажності, вантажу і баласту прототипу, що перевозиться відповідно, т.

Значення складових навантаження мас прототипу наводяться в табл. 1.1.1

Таблиця 1.1.1 Складові навантаження мас прототипу

№ з/п	Найменування складової навантаження	Позначення	Значення
1	Маса корпусу, т	$\bar{P}_K$,	16732
2	Маса обладнання, т	$\bar{P}_{OB}$	3141
3	Маса енергетичної установки, т	$\bar{P}_{EY}$	1100
4	Маса пального, води і масла, т	$\bar{P}_{PB}$	2773
5	Маса забезпечення, т	$\bar{P}_3$	361
6	Маса вантажу, т	$\bar{P}_B$	79718
Водотоннажність, т		$\bar{\Delta}$	103825

У першому наближенні елементи проекту судна будемо розраховувати за коефіцієнтом використання (утилізації), який розраховується за прототипом:

$$\bar{\eta}_B = \frac{\bar{P}_B}{\bar{\Delta}} = \frac{79718}{103825} = 0,767,$$

де $\bar{P}_B$ – вантажопідйомність прототипу;

$\bar{\Delta}$ – водотоннажність прототипу.

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Величина коефіцієнта утилізації по чистій вантажопідйомності залежить від швидкості ходу і дальності плавання, тому його значення коригуємо за допомогою виразу:

$$\bar{\eta}_B^{\text{кор}} = \bar{\eta}_B - \left(\bar{a}_{\text{ЕУ}} \left(\frac{v_e}{\bar{v}_e} \right)^3 + \bar{a}_{\text{П}} \left(\frac{v_e}{\bar{v}_e} \right)^2 \frac{R}{\bar{R}} \right) + \bar{a}_{\text{ЕУ}} + \bar{a}_{\text{П}},$$

де $\bar{a}_{\text{ЕУ}} = \frac{\bar{P}_{\text{ЕУ}}}{\bar{\Delta}}$, $\bar{a}_{\text{П}} = \frac{\bar{P}_{\text{П}}}{\bar{\Delta}}$ – вимірники мас енергетичної установки та маси палива відповідно.

$$\bar{a}_{\text{ЕУ}} = \frac{\bar{P}_{\text{ЕУ}}}{\bar{\Delta}} = \frac{1100}{103825} = 0,01; \quad \bar{a}_{\text{ПВ}} = \frac{\bar{P}_{\text{ПВ}}}{\bar{\Delta}} = \frac{2773}{103825} = 0,03;$$

$$\bar{\eta}_B^{\text{кор}} = 0,767 - \left(0,0114 \left(\frac{15,5}{15,3} \right)^3 + 0,0285 \left(\frac{15,0}{15,0} \right)^2 \frac{15300}{15000} \right) + 0,0114 + 0,0285 = 0,7658.$$

Для урахування масштабного ефекту судна треба скористатися формулою:

$$\eta_0 = \bar{\eta}_B^{\text{кор}} \left(\frac{P_B}{\bar{P}_B} \right)^{0,25} = 0,7658 \left(\frac{76150}{79718} \right)^{0,25} = 0,7588,$$

де P_B – вантажопідйомність проекту.

Таким чином, використання коригованого значення коефіцієнту утилізації дає можливість отримати уточнене значення очікуваної водотоннажності:

$$\Delta_1 = \frac{P_B}{\eta_0} = \frac{76150}{0,7588} = 100330 \text{ т}$$

1.1.2 Визначення характеристик форми корпусу

Отримавши значення водотоннажності, можна розрахувати головні розміри проекту судна. Для початку визначимо наступні характеристики форми корпусу:

- відносна довжина першого наближення l може бути визначена за прототипом як:

$$l = \frac{\bar{L}}{\sqrt[3]{\frac{\bar{\Delta}}{\rho}}} = \frac{238,00}{\sqrt[3]{\frac{103825}{1,025}}} = 5,11;$$

- очікувана довжина між перпендикулярами:

$$L_0 = l \cdot \sqrt[3]{\frac{\Delta}{\rho}} = 5,11 \cdot \sqrt[3]{\frac{100330}{1,025}} = 234,6$$

- число Фруда:

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проекту
$$Fr = \frac{0,514 \cdot v_e}{\sqrt{gL_0}} = \frac{0,514 \cdot 15,0}{\sqrt{9,80 \cdot 234,6}} = 0,16;$$

прототипу
$$Fr = \frac{0,514 \cdot \bar{v}_e}{\sqrt{g\bar{L}}} = \frac{0,514 \cdot 14,8}{\sqrt{9,80 \cdot 238}} = 0,1575.$$

У табл. 1.1.2.1 проводимо розрахунок та прийняття коефіцієнтів повноти проекту для подальших розрахунків. Вибір коефіцієнтів проводимо виходячи з порівняння чисел Фруда проекту і прототипу.

Таблиця 1.1.2.1 - Вибір коефіцієнтів повноти проекту

Коефіцієнт повноти	Формула	Розрахунок	Прототип	Прийнято
загальної	$C_b = 1,1 - 1,68Fr$	0,831	0,829	0,829
площі міделя	$C_m = 0,977 + 0,085(C_b - 0,6)$	0,997	0,994	0,997
площі ватерлінії	$C_w = \sqrt{C_b} - 0,025$	0,913	0,922	0,913

Наступні відношення у 1-му наближенні можна прийняти за прототипом [1]:

– визначення відношення ширини до осадки:

$$\left(\frac{B}{d}\right)_1 = \frac{\bar{B}}{\bar{d}} = \frac{42,0}{12} = 3,44;$$

$$\left(\frac{d}{B}\right)_1 = \frac{\bar{d}}{\bar{B}} = \frac{12,0}{42} = 0,287;$$

– визначення відношення висоти борту до осадки:

$$\left(\frac{D}{d}\right)_1 = \left(\frac{\bar{D}}{\bar{d}}\right) = \frac{21,3}{12,0} = 1,75;$$

– визначення відношення довжини до ширини борту:

$$\left(\frac{L}{B}\right)_1 = \left(\frac{\bar{L}}{\bar{B}}\right) = \left(\frac{238}{42}\right) = 5,7$$

1.1.3 Розрахунок головних розмірів.

Для визначення головних розмірів використовуємо рівняння плавучості:

$$\Delta_1 = k_{вч} \rho C_b L_1 B_1 d_1,$$

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $k_{вч}=1,01$ – коефіцієнт, що враховує виступаючі за обводи ТК частини корпусу. Рівняння плавучості з використанням співвідношень головних розмірів, буде мати вид [1]:

$$\Delta_1 = k_{вч} \rho (L/B)_1 B_1^3 (d/B)_1.$$

Таблиця 1.1.3.1 – Розрахунок головних розмірів у першому наближенні

Ширина судна, м	$B_1 = \sqrt[3]{\frac{D_1}{k_{вч} \rho C_b (d/B)_1 (L/B)_1}}$	41,34
Довжина судна, м	$L_1 = \left(\frac{L}{B}\right)_1 B_1$	235,6
Осадка судна, м	$d_1 = \frac{B_1}{\left(\frac{B}{d}\right)_1}$	12,02
Висота борту, м	$D_1 = d_1 \left(\frac{D}{d}\right)_1$	21,04

1.2 Визначення на ЕОМ потужності та вибір марки головного двигуна

Розрахунок потужності головного двигуна проводимо за допомогою програмного комплексу Maxsurf Resistance [2]. Результати розрахунку наведено в табл. 1.2.1.

Таблиця 1.2.1 – Результати розрахунків потужності головного двигуна

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
1	0,500	0,005	0,012	1,6	0,481
2	0,675	0,009	0,021	4,6	2,316
3	1,250	0,013	0,030	9,0	6,516
4	1,625	0,017	0,039	14,8	13,999
5	2,000	0,021	0,048	22,1	25,705
6	2,375	0,025	0,057	30,9	42,588
7	2,750	0,029	0,067	41,1	65,605
8	3,125	0,033	0,076	52,8	95,721
9	3,500	0,037	0,085	65,9	133,899
10	3,875	0,041	0,094	80,5	181,098
11	4,250	0,045	0,103	96,6	238,267
12	4,625	0,049	0,112	114,1	306,345
13	5,000	0,053	0,121	133,0	386,252
14	5,375	0,057	0,130	153,4	478,887
15	5,750	0,061	0,139	175,3	585,131
16	6,125	0,065	0,148	198,5	705,839
17	6,500	0,069	0,157	223,1	841,842
18	6,875	0,073	0,166	249,0	993,949
19	7,250	0,077	0,175	276,3	1162,946
20	7,625	0,081	0,185	304,8	1349,596
21	8,000	0,085	0,194	334,7	1554,648
22	8,375	0,089	0,203	365,8	1778,837
23	8,750	0,093	0,212	398,2	2022,895
24	9,125	0,097	0,221	431,8	2287,555
25	9,500	0,101	0,230	466,6	2573,568
26	9,875	0,105	0,239	502,6	2881,710
27	10,250	0,109	0,248	539,8	3212,806
28	10,625	0,113	0,257	578,3	3567,740
29	11,000	0,117	0,266	618,0	3947,483
30	11,375	0,121	0,275	659,1	4353,111
31	11,750	0,125	0,284	701,5	4785,831
32	12,125	0,129	0,293	745,3	5247,004
33	12,500	0,132	0,303	790,6	5738,175
34	12,875	0,136	0,312	837,5	6261,093
35	13,250	0,140	0,321	886,2	6817,742
36	13,625	0,144	0,330	936,7	7410,362
37	14,000	0,148	0,339	989,2	8041,475
38	14,375	0,152	0,348	1044,0	8713,904
39	14,750	0,156	0,357	1101,2	9430,797
40	15,125	0,160	0,366	1161,0	10195,64
41	15,500	0,164	0,375	1223,6	11012,27

Потужність для швидкості на випробуваннях: $v_e=15,5$ вузлів, $N_e=11012$ кВт.
Потужність для експлуатаційної швидкості $v_e=15,0$ вузлів визначається шляхом інтерполяції та дорівнює $N_e = 9431$ кВт.

Обираємо головний двигун фірми «MAN B&W Diesel Group» за каталогом [3] (табл.1.2.2).

Таблиця 1.2.2 – Характеристики головного двигуна

№ з/п	Марка	P_{SN} , кВт	n , об/хв	g_e , г/(кВт·год)	L , мм	B , мм	H , мм	G , т
1	G70MEC9	11550	127	171	9272	2950	8800	288

1.3 Визначення елементів проекту судна в другому наближенні

1.3.1 Розрахунок водотоннажності.

Для визначення водотоннажності у другому наближенні необхідно використовувати рівняння мас, що виражене у функції головних розмірів, у якому складові навантаження мас розраховуються за формулами, що дають більш точні результати. Так маса корпусу в цьому рівнянні виражається залежністю $P_k = q_k C_b^n LBD$, а маса обладнання $P_o = q_o (LBD)^{2/3}$. При визначенні маси енергетичної установки та маси палива використовується значення потужності головного двигуна, що прийняте за каталогом. Вирази для маси забезпечення $P_{заб}$, запасу водотоннажності $P_{зв}$, значення яких у навантаженні мас незначні, доцільно залишити незмінним $P_{заб} = a_c \Delta$; $P_{зв} = a_{зв} \Delta$.

Для того, щоб виключити кількість невідомих в рівнянні мас та привести його до такого вигляду, щоб як і у першому наближенні його можна було б вирішити відносно Δ , використовуються наступні перетворення [1]:

$$P_k = q_k C_b^n LBD = q_k C_b^n LBD \frac{\Delta}{\rho_b k_b C_b LBD} = \Delta \left(q_k \frac{C_b^n D}{C_b} \frac{1}{d \rho_b k_b} \right),$$

$$P_{ок} = q_o (LBD)^{2/3} = \Delta^{\frac{2}{3}} \left(q_o \left(\frac{D}{d \rho_b k_b C_b} \right)^{\frac{2}{3}} \right).$$

З урахуванням виконаних перетворень рівняння мас приймає вигляд:

$$\Delta_1 \left(1 - q_k \frac{C_b^n D}{C_b} \frac{1}{d \rho_b k_b} - a_{заб} - a_{зв} \right) = \Delta_1^{\frac{2}{3}} \left(q_o \left(\frac{D}{d \rho_b k_b C_b} \right)^{\frac{2}{3}} \right) + q_{ey} N_{ey}^B + q_{п} k_{мз} k_{вс} N_{ey}^e \frac{R}{v_e} + P_B.$$

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Таблиця 1.3.1.1 – Визначення проміжних коефіцієнтів

Назва величини	Формула	Значення
Коефіцієнт повноти об'єму корпусу судна по верхню палубу прототипу	$\bar{C}_b^n = \bar{C}_b \left(\frac{\bar{d}}{\bar{D}} \right) + 1,05 \bar{C}_w \left(1 - \left(\frac{\bar{d}}{\bar{D}} \right) \right)$	0,873
Коефіцієнт повноти об'єму корпусу судна по верхню палубу проекту	$\bar{C}_b^n = C_b \left(\frac{d_1}{D_1} \right) + 1,05 C_w \left(1 - \left(\frac{d_1}{D_1} \right) \right)$	0,868
Вимірник маси корпусу прототипу	$q_K = \frac{\bar{P}_K}{\bar{C}_b^n \bar{L} \bar{B} \bar{D}}$	0,0904
Вимірник маси обладнання	$q_{об} = \frac{\bar{P}_{об}}{(\bar{L} \bar{B} \bar{D})^{2/3}}$	0,9061
Коефіцієнт морського запасу	$k_{мз}$	1,2
Коефіцієнт збільшення запасу палива	$k_{доп}$	1,15
Коефіцієнти для вирішення рівняння мас	$n = 1 - 0,966 q_K \frac{D}{d} \frac{C_b^n}{C_b} - a_{зв} - a_B$	0,8318
	$m = q_{об} \left(\frac{D_1}{d_1} \frac{1}{C_b \gamma} \right)^{2/3} + q_3$	1,6189
	$A = q_{ЕУ} N_{ЕУ}^e + q_{П} k_{мз} k_{доп} N_{ЕУ}^e \frac{R}{v_E} + P_B$	79670,0
Рівняння мас у функції головних розмірів	$\Delta - \frac{m}{n} \Delta^{2/3} - \frac{A}{n} = 0$	0

Використовуючи метод підбору параметрів у програмі Excel вирішимо рівняння водотоннажності та отримаємо водотоннажність у другому наближенні:

$$\Delta_2 = 100360 \text{ т.}$$

В табл. 1.3.1.2 визначаються маси статей навантаження у другому наближенні судна-проекту. Вимірники мас q_i і a_i визначаються по табл.1.1.1.

Таблиця 1.3.1.2 – Розрахунок мас статей навантаження

Назва статі навантаження	Формула	Значення
--------------------------	---------	----------

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Маса корпусу, т	$P_K = q_K \Delta \left(\frac{C_b^n D}{C_b d} \frac{1}{k_{\text{вч}} \rho} \right)$	15813
Маса обладнання, т	$P_{\text{ОБ}} = q_{\text{ОБ}} \Delta^{\frac{2}{3}} \left(\frac{D}{d} \frac{1}{C_b k_{\text{вч}} \rho} \right)^{2/3}$	3135
Маса енергетичної установки, т	$P_{\text{ЕУ}} = q_{\text{ЕУ}} N_{\text{ЕУ}}^6$	1203
Маса забезпечення, т	$P_3 = q_3 \Delta_2^{2/3}$	352
Маса запасу водотоннажності, т	$P_{3\text{В}} = a_{3\text{В}} \Delta_2$	1000
Маса пального, т	$P_{\Pi} = q_{\Pi} N_{\text{ЕУ}}^6 \frac{R}{v_e} k_{\text{мз}} k_{\text{доод}}$	2709
Маса баласту, т	$P_{\text{Б}} = a_{\text{Б}} \Delta_2$	0
Маса вантажу, т	$P_{\text{В}}$	76150
Водотоннажність, т	$\Delta_2 = P_K + P_{\text{ОБ}} + P_{\text{ЕУ}} + P_{\Pi} + P_3 + P_{3\text{В}} + P_{\text{Б}} + P_{\text{В}}$	100362

1.3.2 Уточнення головних розмірів з урахуванням вимог до місткості, початкової остійності та плавності хитавиці

Головні розміри можна отримати по їх відношенням. У другому наближенні необхідно уточнювати ці відношення виходячи з вимог до різних якостей судна [1].

Визначення відношення висоти борту до осадки з умови забезпечення вантажомісткості:

$$D/d = \left[\frac{1,08 \eta_{\text{в}}}{L_m / L \gamma_{\text{в}}} + \eta_{\text{в}} \right] \frac{C_b}{C_m} \kappa_e$$

$$\left(\frac{D}{d} \right)_{\text{ВМС}} = \left[\frac{1,08 \eta_{\text{в}}}{\frac{L_m}{L_0}} \cdot \frac{1}{\gamma_{\text{в}}} + \eta_{\text{в}} \right] \frac{\delta}{\delta_m} \kappa''_e = \left[\frac{1,08 \cdot 0,759}{\frac{186,9}{235,60}} \cdot \frac{1}{0,72} + 0,47 \right] \frac{0,829}{0,697} 1,34 = 1,75$$

Приймаємо $\left(\frac{D}{d} \right)_2 = 1,75$.

Визначення відношення ширини до осадки за умови забезпечення остійності та плавності хитавиці:

$$\frac{B}{d} = \frac{\frac{h}{B} + \sqrt{\left(\frac{h}{B} \right)^2 + \frac{k_p C_w^2}{3 C_b} \left(\zeta_g \frac{D}{d} - \frac{1}{2} \left(\frac{C_w}{C_b} \right)^{0,5} \right)}}{\frac{k_p C_w^2}{6 C_b}} = \frac{0,11 + \sqrt{(0,11)^2 + \frac{1,03 \cdot 0,922^2}{0,829} \left(0,567 \cdot 1,75 - \frac{1}{2} \left(\frac{0,922}{0,829} \right)^{0,5} \right)}}{\frac{1,03 \cdot 0,922^2}{6 \cdot 0,829}} = 3,44.$$

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо $\left(\frac{B}{d}\right)_2 = 3,44$.

Визначення відношення довжини до ширини з умови забезпечення ходовості приймаємо $\left(\frac{L}{B}\right)_2 = 5,70$.

1.3.3 Розрахунок головних розмірів

Для визначення головних розмірів використаємо рівняння плавучості:

$$\Delta_2 = k_b \rho_b C_b L_2 B_2 d_2$$

де $k_b = 1,01$ – коефіцієнт, який враховує частини корпусу, що виступають за обводи теоретичного креслення.

Будемо використовувати рівняння мас з використанням відношення головних розмірів [1]:

$$\Delta = k_b \rho_b C_b (L/B)_2 B_2^3 (d/B)_2.$$

Таблиця 1.3.3.1 – Розрахунок головних розмірів у другому наближенні

Ширина судна (м)	$B_2 = \sqrt[3]{\frac{\Delta_2 (B/d)_2}{k_b \rho_b C_b (L/B)_2}}$	41,10
Довжина між перпендикулярами (м)	$L_2 = \left(\frac{L}{B}\right)_2 B_2$	234,3
Осадка судна (м)	$d_2 = \left(\frac{B}{d}\right)_2 B_2$	12,0
Висота борту (м)	$D_2 = d_2 \left(\frac{D}{d}\right)_2$	21,0

1.4 Побудова теоретичного креслення та розрахунок елементів плавучості і початкової остійності

Для побудови теоретичного креслення і розрахунку елементів початкової остійності використовується програмний комплекс Maxsurf [2].

3D модель поверхні суднового корпусу (Додаток 1) створюємо в середовищі Maxsurf Modeler. Теоретичне креслення за допомогою афінного перетворення поверхні корпусу прототипу будуємо в AutoCAD .

Вихідні дані:

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- кількість батоксів – 4 (І.. IV);
- кількість ватерліній – 7 (0..8);
- кількість шпангоутів – 21 (0, 1, 2, 3..17, 18, 19, 19.5, 20);
- теоретична шпация $\Delta L = L/20 = 11,715\text{м.}$

За отриманими даними побудовано теоретичне креслення (24.ДП.135.4111.07.01) (Додаток 2), гідростатичні криві (24.ДП.135.4111.07.03) (Додаток 3) та креслення загального розташування (24.ДП.135.4111.07.04) (Додаток 4).

1.5. Побудова креслення загального розташування

Креслення будуємо у тому ж масштабі, що й теоретичне креслення в AutoCAD.

На проекції «Вид збоку/Повздовжній переріз» розташовуємо поперечні перебірки, друге дно, розміщуємо надбудову, щогли, вантажні стріли, леєрну огорожу, суднові пристрої, навігаційні та ходові вогні, двері, трапи, ілюмінатори, габаритні обриси головного двигуна, осі валопроводу, рушій.

На проекції «Верхня палуба», засоби комунікацій, поперечні перебірки та розташовуємо в носовій та кормовій кінцівках якірно-швартовний пристрій.

1.6 Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн, розрахунок завантаження, визначення координат ЦМ.

Після визначення головних розмірів і коефіцієнтів повноти судна потрібно перевірити його вантажомісткість. Ця перевірка є остаточною і виконується з достатньою для цього точністю за допомогою комплексу Maxsurf Stability Enterprise.

1.6.1 Початкова архітектурна розробка проекту

Розташування машинного відділення кормове, загальну кількість водонепроникних перебірок приймаємо 10 .

Фактичну шпацию визначаємо за формулою:

$$a_0 = 0,002 \cdot L + 0,48 = 0,002 \cdot 234,3 + 0,48 \pm 25\% = 0,948 \text{ мм.}$$

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо $a_0 = 900$ мм.

Згідно з вимогами Правил Регістру [4], у форпіку та ахтерпіку шпація приймається $a_\phi = a_{axm} = 600$ мм. Перехідна шпація між форпиковою перебіркою та перерізом $0,2L$ від носового перпендикуляру приймається $a_n = 700$ мм.

Таким чином, поперечні перебірки поділяють корпус судна на відсіки, які наведені у табл.1.6.1.1.

Таблиця 1.6.1.1 – Відсіки судна

Шпація	Відсік	Довжина
287-310	Ахтерпик	$L_{axm}=23\cdot0,6=13,8$ м
255-287	МВ	$L_{mv}=32\cdot0,8=25,6$ м
244-255	Відст.танк	$L_{відст.танк}=11\cdot0,8=8,8$ м
212-244	Танк №7	$L_{танк7}=32\cdot0,8=25,6$ м
180-212	Танк №6	$L_{танк6}=32\cdot0,8=25,6$ м
148-180	Танк №5	$L_{танк5}=32\cdot0,8=25,6$ м
116-148	Танк №4	$L_{танк4}=32\cdot0,8=25,6$ м
84-116	Танк №3	$L_{танк3}=32\cdot0,8=25,6$ м
49-84	Танк №2	$L_{мп2}=35\cdot0,74=25,8$ м
19-49	Танк №1	$L_{мп1}=30\cdot0,7=21$ м
0-19	Форпик	$L_{фор}=19\cdot0,6=11,4$ м
Сума		$L = 234,3$ м

Висоту другого дна розраховуємо за формулою [4]:

$$h_{dd} = L - 40/0,57 + 40B + 3500d/L = 234,44 - 40/0,57 + 40 \cdot 41,4 + 3500 \cdot 12/234,44 = 1,99 \text{ м.}$$

Приймаємо $h_{dd} = 2$ м.

Ширину подвійного борту приймаємо 2,75 м

1.6.2 Розрахунки місткості проекту.

Результати розрахунків місткості були виконані у програмному комплексі Maxsurf Stability Enterprise за допомогою Loadcase та представлені в табл. 2.1

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Координати центрів мас вантажу, палива приймаються за Loadcase. . При цьому абсциси і аплікати розділів: корпус, обладнання, запас водотоннажності, енергетична установка і постачання визначаються перерахунком із судна прототипу пропорційно довжині і висоті борту за формулами:

$$X_{gi} = \frac{\overline{X_{gi}}}{\overline{L}} L ; Z_{gi} = \frac{\overline{Z_{gi}}}{\overline{H}} H.$$

Таблиця 1.6.2.1 – Таблиця місткості

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Hull	1	15813,000	15813,000			-130,510	0,000	11,800	0,000	User Specifi
2	Equipment	1	3135,000	3135,000			-170,120	0,000	18,600	0,000	User Specifi
3	Engine room	1	1203,000	1203,000			-211,200	0,000	10,300	0,000	User Specifi
4	Margin	1	1000,000	1000,000			-190,840	0,000	12,800	0,000	User Specifi
5	Total LightSh			21151,000			-143,823	0,000	12,770	0,000	
6	Tank 1	96%	9351,174	8977,127	12987,741	12468,231	-22,206	0,000	11,649	37423,423	Maximum
7	Tank 2	97,27%	11822,514	11499,641	16420,158	15971,723	-45,300	0,000	11,267	57678,030	Maximum
8	Tank 3	98,48%	11246,400	11075,943	15620,000	15383,254	-71,000	0,000	10,996	0,000	Maximum
9	Tank 4	99%	11229,513	11117,218	15596,546	15440,579	-96,600	0,000	11,029	0,000	Maximum
10	Tank 5	99%	11229,513	11117,218	15596,545	15440,580	-122,200	0,000	11,029	0,000	Maximum
11	Tank 6	99%	11260,248	11147,645	15639,233	15482,840	-147,800	0,000	11,054	0,000	Maximum
12	Tank 7	99%	11328,518	11215,233	15734,052	15576,712	-173,400	0,000	11,109	0,000	Maximum
13	Slop Tank	0%	4584,586	0,000	6367,480	0,000	-190,378	0,000	2,000	0,000	Maximum
14	Total Cargo	92,81%	82052,466	76150,026	113961,754	105763,920	-98,903	0,000	11,149	95101,453	
15	DB Tank 1	0%	999,195	0,000	1189,518	0,000	-19,308	0,000	0,000	0,000	Maximum
16	DB Tank 2	0%	1672,082	0,000	1990,574	0,000	-48,610	0,000	0,021	0,000	Maximum
17	DB Tank 3	0%	1696,714	0,000	2019,898	0,000	-71,005	0,000	0,021	0,000	Maximum
18	DB Tank 4	0%	1696,715	0,000	2019,898	0,000	-96,605	0,000	0,021	0,000	Maximum
19	DB Tank 5	0%	1696,715	0,000	2019,898	0,000	-122,205	0,000	0,021	0,000	Maximum
20	DB Tank 6	35%	1698,317	594,411	2021,806	707,632	-147,811	0,000	0,384	123911,264	Maximum
21	DB Tank 7	98%	1448,664	1419,690	1724,600	1690,108	-172,438	0,000	1,048	0,000	Maximum
22	DB Slop Tank	98%	287,170	281,427	341,869	335,032	-190,268	0,000	1,149	0,000	Maximum
23	DB Engine roo	98%	422,810	414,354	503,346	493,279	-205,839	0,000	1,087	0,000	Maximum
24	Total Fuel	23,32%	11618,382	2709,882	13831,407	3226,050	-173,995	0,000	0,919	123911,264	
25	Forepeak	0%	6414,069	0,000	6257,628	0,000	-8,777	0,000	0,021	0,000	Maximum
26	Afterpeak	0%	5927,976	0,000	5783,391	0,000	-221,361	0,000	0,021	0,000	Maximum
27	BS Tank 1 P	0%	976,166	0,000	952,357	0,000	-27,173	-16,932	2,000	0,000	Maximum
28	BS Tank 1 S	0%	976,166	0,000	952,357	0,000	-27,173	16,932	2,000	0,000	Maximum
29	BS Tank 2 P	0%	1833,745	0,000	1789,020	0,000	-46,216	-18,489	2,000	0,000	Maximum
30	BS Tank 2 S	0%	1833,745	0,000	1789,020	0,000	-46,216	18,489	2,000	0,000	Maximum
31	BS Tank 3 P	0%	1841,331	0,000	1796,420	0,000	-71,000	-18,613	2,000	0,000	Maximum
32	BS Tank 3 S	0%	1841,331	0,000	1796,420	0,000	-71,000	18,613	2,000	0,000	Maximum
33	BS Tank 4 P	0%	1838,566	0,000	1793,723	0,000	-96,600	-18,613	2,000	0,000	Maximum
34	BS Tank 4 S	0%	1838,566	0,000	1793,723	0,000	-96,600	18,613	2,000	0,000	Maximum
35	BS Tank 5 P	0%	1838,566	0,000	1793,723	0,000	-122,200	-18,613	2,000	0,000	Maximum
36	BS Tank 5 S	0%	1838,566	0,000	1793,723	0,000	-122,200	18,613	2,000	0,000	Maximum
37	BS Tank 6 P	0%	1843,887	0,000	1798,914	0,000	-147,800	-18,613	2,000	0,000	Maximum
38	BS Tank 6 S	0%	1843,887	0,000	1798,914	0,000	-147,800	18,613	2,000	0,000	Maximum
39	BS Tank 7 P	0%	1780,336	0,000	1736,913	0,000	-169,539	-18,165	2,000	0,000	Maximum
40	BS Tank 7 S	0%	1780,336	0,000	1736,913	0,000	-169,539	18,165	2,000	0,000	Maximum
41	Total Ballast	0%	36247,238	0,000	35363,159	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
42	Supply	1	352,000	352,000			-222,330	0,000	18,200	0,000	User Specifi
43	Total Supply			352,000			-222,330	0,000	18,200	0,000	
44	Total Loadca			100362,908	163156,321	108989,971	-110,830	0,000	11,239	219012,717	
45	FS correction								2,182		
46	VCG fluid								13,421		

Перевірка:

$$W_B = P_B / \gamma_B = 76150 / 0,72 = 105764 \text{ м}^3.$$

Похибка:

$$\varepsilon = \frac{105764 - 105764}{105764} 100\% = 0\%$$

$$W_{\Pi} = P_{\Pi} / \gamma_{\Pi} = 2709,0 / 0,84 = 3225 \text{ м}^3.$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01

Похибка:

$$\varepsilon = \frac{3226-3225}{3226} \cdot 100\% = 0\% .$$

Таким чином, проект судна повністю вміщує в собі увесь вантаж і паливе.

1.7 Удиферентування і визначення посадки проекту.

В розрахунках будемо приймати, що вантаж і паливе розміщуються симетрично відносно ДП і тому крен судна відсутній.

Для удиферентування судна використовується програма Maxsurf Stability Enterprise. Для заданого стану навантаження –100% вантажу, 100% запасів, 0% баласту отримуємо дані з Loadcase (табл. 1.6.2.1).

В табл. 1.7.1 наведено результати розрахунку водотоннажності проекту і координат ЦМ.

Таблиця 1.7.1 Результати розрахунку водотоннажності проекту і координат ЦМ.

№	Назва	Маса P , т	Плечі, м		Моменти, т.м	
			$x_i = \frac{\bar{x}_i}{\bar{L}} L$	$z_i = \frac{\bar{z}_i}{\bar{H}} H$	$P_i \cdot x_i$	$P_i \cdot z_i$
1	Водотоннажність порожнем (Σпор.)	21151,0	-143,823	12,770	-3042613,7	270098,3
2	Вантаж	76150,0	-98,903	11,149	-7531463	848996,4
3	Постачання	352,0	-222,330	18,200	78260,2	6406,4
4	Паливе	2709,0	-173,995	0,919	-471352	2489,57
5	Водотоннажність повна	100362	-110,1	11,15	-11045428,7	1119094,7

Удиферентування проекту виконується у середовищі Maxsurf Stability для повного вантажу: 1 стан навантаження 100% вантажу, 100% запасів, 0 % баласту. На рис 1.7.1 представлена візуалізація посадки судна, а в таблиці Loadcase (табл. 1.7.2) – параметри посадки і характеристики плавучості і початкової остійності, з використанням якої перевіряємо значення диференту судна (табл.1.7.3).

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

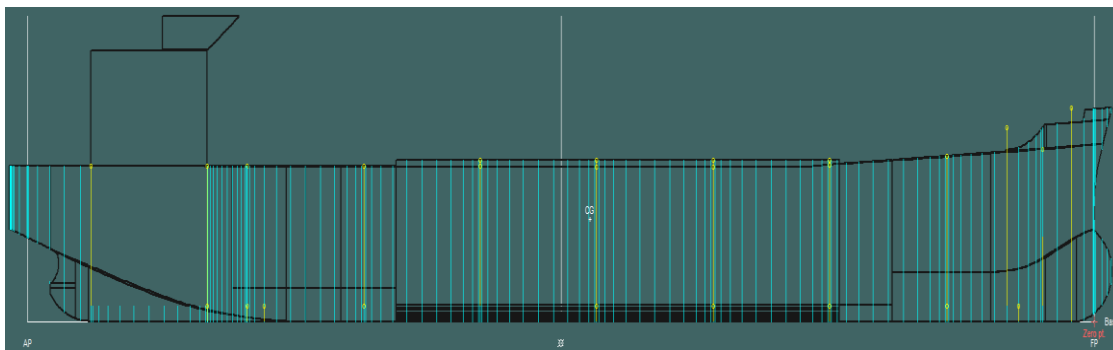


Рисунок 1.7.1 – Удиферентоване судно-проект у повному вантажі

Таблиця 1.7.2 – Посадка судна і характеристики плавучості і початкової остійності

1	Draft Amidships m	12,037
2	Displacement t	100363
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	12,037
5	Draft at AP m	12,037
6	Draft at LCF m	12,037
7	Trim (+ve by stern) m	0,000
8	WL Length m	238,085
9	Beam max extents on	41,180
10	Wetted Area m ²	13542,1
11	Waterpl. Area m ²	8946,92
12	Prismatic coeff. (Cp)	0,834
13	Block coeff. (Cb)	0,829
14	Max Sect. area coeff. (	0,997
15	Waterpl. area coeff. (C	0,913
16	LCB from zero pt. (+ve	-110,84
17	LCF from zero pt. (+ve	-118,60
18	KB m	6,261
19	KG fluid m	13,421
20	BMt m	11,739
21	BML m	371,514
22	GMT corrected m	4,580
23	GML m	364,354
24	KMt m	18,001
25	KML m	377,775
26	Immersion (TPc) tonne/	91,706
27	MTc tonne.m	1559,78
28	RM at 1deg = GMT.Disp.	8021,36
29	Max deck inclination de	0,0000
30	Trim angle (+ve by ster	0,0000

Таблиця 1.7.3 – Посадка судна

1	Осадка розрахункова (на міделі), м	12,04
2	Водотоннажність, т	100363
3	Кут крену, град	0,0
4	Осадка на носовому перпендикулярі, м	12,04
5	Осадка на кормовому перпендикулярі, м	12,04
6	Осадка в центрі ваги площі ватерлінії, м	12,04

7	Диферент (позитивний на корму), м	0,00
8	Довжина ватерлінії, м	238,1
9	Ширина ватерлінії, м	41,2
10	Площа змоченої поверхні, м ²	13542,1
11	Площа ватерлінії, м ²	8946,9
12	Коефіцієнт поздовжньої гостроти	0,834
13	Коефіцієнт загальної повноти	0,829
14	Коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоута	0,997
15	Коефіцієнт повноти площі ватерлінії	0,913
16	Відстань ЦВ судна від міделя (абсциса центра величини (позитивна в ніс)), м	-110,84
17	Відстань ЦТ площі ватерлінії від міделя (абсциса центра ваги площі ватерлінії), м	-118,6
18	Апліката центра величини, м	6,26
19	Піднесення ЦТ судна на ОЛ (апліката центра ваги), м	13,42
20	Поперечний метацентричний радіус, м	11,74
21	Поздовжній метацентричний радіус, м	371,5
22	Поперечна метацентрична висота, м	4,58
23	Поздовжня метацентрична висота, м	364,35
24	Піднесення поперечного метacentра над ОЛ (апліката поперечного метacentра), м	18,0
25	Піднесення поздовжнього метacentра над ОЛ (апліката поздовжнього метacentра), м	377,78
26	Число тон на 1 см осадки, т / см	91,71
27	Момент, диферентуючий на 1 см, т м / см	1559,8
28	Момент, що кренить на 1 градус, т м / град	8021,36
29	Максимальний нахил палуби, град	0,000
30	Кут диференту (позитивний на корму), град	0,000

В результаті отримуємо диферент: $(-110,84+110,1)/-110,84 = 0,00$ м.

Таким чином $X_c = -110,84$; $X_g = -110,1$ м..

Згідно даним табл.1.7.3 розрахунковий стан проекту має такі характеристики:

$T_n = 12,04$ – осадка носом, м;

$T_k = 12,04$ – осадка кормою, м;

$\Delta T = 0,00$ – диферент, м;

Для удиферентування потрібно виконання наступних умов:

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Диферент не повинен перебільшувати $\Delta T \leq (0,006...0,008)L$ – умова забезпечення задовільної ходовості по опору води:

- $\Delta T \leq (0,006...0,008)L = 0,008 \cdot 234,3 = 1,87$ м – умова забезпечення задовільної ходовості по опору води: $0,00 < 1,87$, умова задовольняється;

- $T_H \geq \frac{L}{40} = \frac{234,3}{40} = 5,86$ – умова відсутності слемінгу: $12,04 > 5,86$, умова задовольняється;

- $T_K \geq d_{zv} - d_{zv} = 8,4$ м – умова забезпечення нормальної роботи гвинта і керованості: $12,04 > 8,4$ – умова задовольняється.

- $T_K \geq T_H$ – умова забезпечення морехідних якостей: $12,04 = 12,04$ – умова задовольняє.

Таким чином, оскільки $X_c = -110,82$; $X_g = -110,1$, і $\Delta T = 0,0$, проект у повному вантажі удиферентовано.

ВИСНОВКИ.

У даному розділі отримано головні розміри проектного танкера, розроблено 3D-модель поверхні корпусу, описано побудову теоретичного креслення та креслення загального розташування, отримано теоретичне креслення і креслення загального розташування, а також проведено розрахунки елементів посадки, плавучості і початкової остійності та удиферентування проекту.

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					24.ДР.6.135.4111.07.ПЗ.02				
Змн.	Арк.З	№ докум.	Підпис№	Дата					
					Перевірка вимог Правил Регістру України до остійності проекту	Літ.	Арк.Дата	Аркушів	
Студент	Головинський Д.О.						Арк.		
Консульт.	Пащенко Ю.М.					НУК			
Керівник	Кротов О.І.								
Зав. кафедр.	Некрасов В О								

залежності від коефіцієнта загальної повноти C_b ; $r = 0,73 + 0,6(z_g - d)/d$ – параметр, не повинен братися більше 1; S – безрозмірний множник, який залежить від району плавання судна і періоду хитавиці, який розраховується за формулою

$$T = 2cB/\sqrt{h},$$

де $c = 0,373 + 0,023 \cdot \frac{B}{d} - 0,043 \cdot L/100$; h – виправлена метацентрична висота;

L_{wl} – довжина судна по ватерлінії; $K = 1$.

$$X_1 = 0,86 \text{ (так як } \frac{B}{T} = \frac{41,37}{11,99} = 3,44);$$

$$X_2 = 1,0 \text{ (так як } C_b = 0,829).$$

$$r = 0,73 + \frac{0,6(z_g - d)}{d} = 0,73 + \frac{0,6(13,442 - 12,0)}{11,99} = 0,802;$$

$$C = 0,373 + 0,023 \frac{B}{d} - 0,043 \frac{L}{100} = 0,373 + 0,023 \frac{41,2}{12,0} - 0,043 \frac{234,3}{100} = 0,350.$$

$$T = 2 \cdot \frac{C \cdot B}{\sqrt{h}} = 2 \cdot \frac{0,350 \cdot 41,37}{\sqrt{4,576}} = 13,537. S = 0.0558.$$

$$\theta_1 = 109 \cdot 1 \cdot 0,86 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,802 \cdot 0,0558} = 19,8.$$

2.3 Розрахунок кренувального моменту від тиску вітру і перекидального моменту [4].

Кренувальний момент M_v , кН·м, береться рівним добутку тиску вітру на площу парусності A_v на відстані центра парусності z від площини діючої ватерлінії і приймається постійним за весь період нахренення судна:

$$M_v = 0,001 p_v A_v z, \quad (2.1)$$

де $A_v = \sum S_i = 2665,774 \text{ м}^2$ площа парусності; $Z_v = 18,885$ апліката центра парусності.

Для визначення плеча кренувального моменту l_{w1} тиск вітру p_v , Па береться залежно від району плавання судна [4]. З таблиці вибираємо тиск вітру $P_v = 504$ Па.

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Плече парусності приймається рівним виміряній по вертикалі відстані від центра площі парусності A_v , до центра площі проекції підводної частини корпусу на ДП: $Z_v = 24,831$ м. Прискорення вільного падіння $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ –.

Плече кренувального моменту визначається як:

$$l_{w1} = \frac{P_v \cdot A \cdot Z_v}{1000 \cdot g \cdot \Delta} = \frac{504 \cdot 2665,774 \cdot 24,831}{1000 \cdot 9,81 \cdot 100362} = 0,0377 \text{ м}$$

$$l_{w2} = 1,5 \cdot l_{w1} = 1,5 \cdot 0,0377 = 0,0566 \text{ м.} \quad (2.2)$$

Перекидальний момент може бути визначений при використанні діаграми статичної остійності з умови рівності робіт перекидального і відновлювального моментів з урахуванням енергії хитавиці. Для цього діаграма статичної остійності продовжується в області від'ємних абсцис на ділянці, що дорівнює амплітуді хитавиці (рис.2.2), і підбирається пряма MK , паралельна осі абсцис, при якій заштриховані площі S_1 і S_2 дорівнюють одна одній. Ордината OM буде шуканим перекидальним моментом, якщо на осі ординат відкладені моменти, або плечем перекидального моменту, якщо на осі ординат відкладені плечі остійності. В останньому випадку для одержання перекидального моменту M_c , кН·м, необхідно ординату OM , м, помножити на водотоннажність судна, кН:

$$M_c = \Delta \cdot \overline{OM}; \quad (2.3)$$

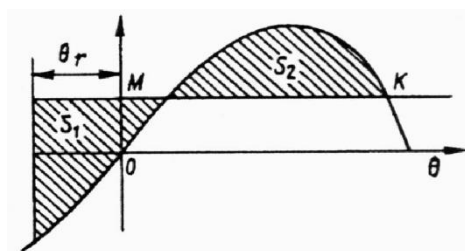


Рис.2.2 Визначення перекидального моменту за діаграмою статичної остійності

2.4 Розрахунок критерію погоди.

Остійність суден необмеженого району плавання вважається за критерієм погоди K достатньою, якщо при найгіршому щодо остійності варіанті навантаження динамічно прикладений кренувальний момент від тиску вітру M_v дорівнює або менший, ніж перекидальний момент M_c , тобто якщо дотримані

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

умови $M_v \leq M_c$ або [4]:

$$K = M_c / M_v \geq 1,0. \quad (2.4)$$

Остійність за критерієм погоди K вважається також достатньою, якщо при вказаній нижче умовній дії вітру та хвилювання виконуються вимоги (2.4), при цьому:

– судно перебуває під дією вітру постійної швидкості, направлено перпендикулярно до його діаметральної площини, якій відповідає плече вітрового кренувального моменту l_{wl} (див. рис.2.3);

02

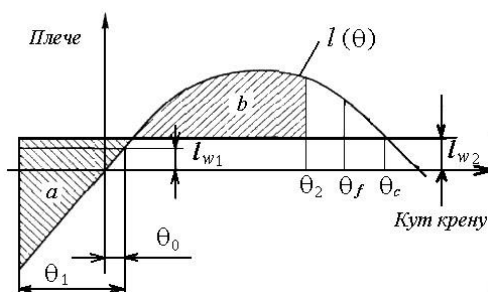


Рис.2.3

– від статичного кута крену θ_0 , спричиненого постійним вітром і такого, що відповідає першій точці перетинання горизонтальної прямої l_{w1} , і кривої відновлювальних плечей $l(\theta)$, під дією хвиль судно крениться на навітряний борт на кут, що дорівнює амплітуді бортової хитавиці θ_1 (рис.2.3);

– на накренене судно динамічно діє порив вітру, якому відповідає плече кренувального моменту l_{w2} ;

– обчислюються і порівнюються площі a і b , заштриховані на рис.2.3. Площа b обмежена кривою $l(\theta)$ відновлювальних плечей, горизонтальною прямою, що відповідає плечу кренувального моменту l_{w2} , і кутом крену $\theta_2 = 50^\circ$, або кутом заливання θ_f , або кутом крену θ_c , що відповідає точці другого перетинання прямої l_{w2} з кривою відновлювальних плечей – в залежності від того, який з цих кутів менше. Площа a обмежена кривою відновлювальних плечей, прямою l_{w2} і кутом крену, який дорівнює $\theta_0 - \theta_1$ (рис.2.3);

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– остійність судна за критерієм погоди $K = b/a$ вважається достатньою, якщо площа b дорівнює або більше площі a , тобто $K = M_c/M_v \geq 1,0$.

На рисунку 2.4 зображено діаграму статичної остійності і результати розрахунку площ a і b .

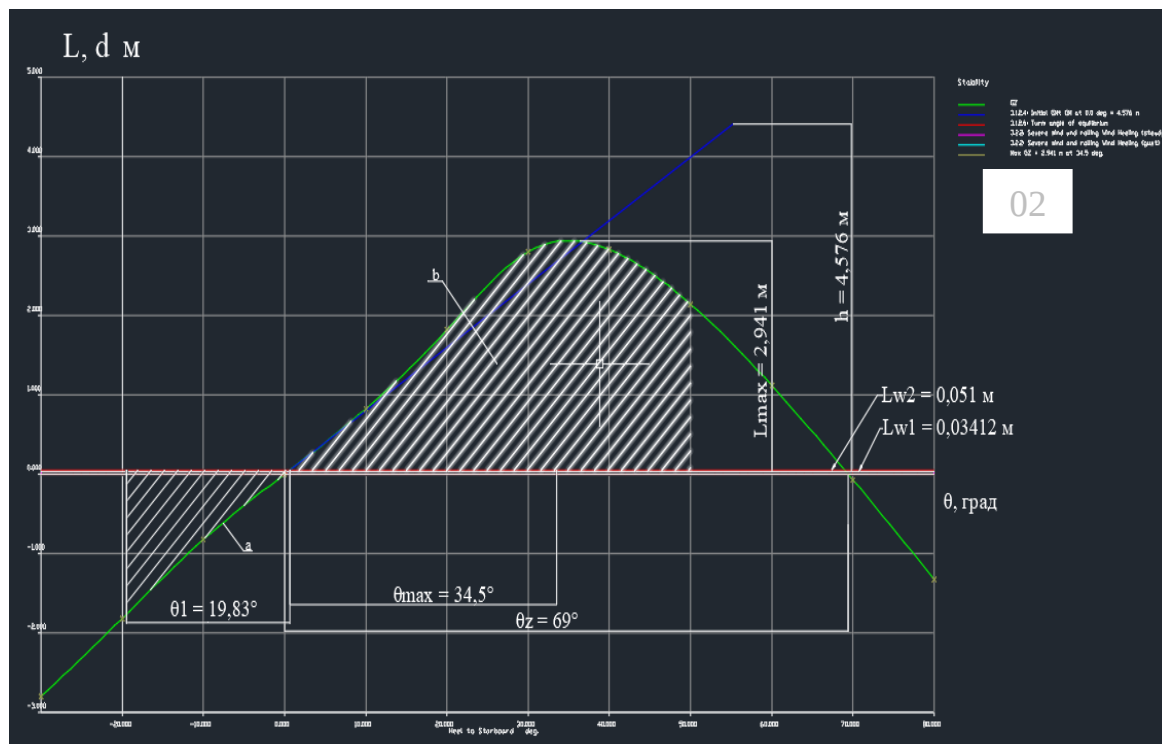


Рис. 2.4.

Отримані розрахунком площі a і b : $b = 1,6332$ м·рад; $a = 0,48$ м·рад.

Таким чином, значення критерія остійності буде дорівнювати:

$$K = \frac{b}{a} = \frac{1,6322}{0,4819} = 3,387 \geq 1.$$

Умова по критерію остійності виконана.

2.5 Вимоги до критерію остійності, параметрів діаграми статичної остійності і метacentричної висоти.

Правилами Регістру України встановлюються наступні вимоги до параметрів діаграми статичної остійності і метacentричної висоти.

2.5.1 Максимальне плече діаграми статичної остійності l_{max} повинно бути не менше 0,25 м для суден довжиною $L \leq 80$ м і 0,2 м для суден довжиною $L \geq 105$ м

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при куті крену $\theta_m \geq 30^\circ$. Для проміжних довжин L величина $l_{\max}$ визначається лінійною інтерполяцією.

2.5.2 Границя додатної статичної остійності (закочування діаграми) повинна бути не менше 60° . Площа під додатною частиною діаграми статичної остійності повинна бути не менше ніж $0,055 \text{ м} \cdot \text{рад}$ до кута крену 30° і не менше ніж $0,09 \text{ м} \cdot \text{рад}$ до кута крену 40° . Площа між кутами крену 30 і 40° повинна бути не менше $0,03 \text{ м} \cdot \text{рад}$.

02

2.5.3 Значення виправленої початкової метацентричної висоти всіх суден при усіх варіантах навантаження, за винятком "судна порожнем", повинно бути не менше $0,15 \text{ м}$

Відповідність вимогам Правил Регістру України до остійності перевіряється у Maxsurf Stability у вкладці Criteria [2]. В табл.2.2 наведено отримані значення критерію і параметрів діаграми.

Таблиця 2.2 Розрахункові параметри діаграми статичної остійності і метацентрична висота

№ з/п	Критерії Правил Регістру	Вимоги Регістру	Результати розрахунку
1	Критерій погоди	$K \geq 1$	3,387
2	Максимальне плече діаграми, м	$l_{\max} \geq 0,2$	2,941
3	Максимальний кут діаграми	$\theta_{\max} \geq 30$	34,5
4	Кут закочування діаграми, град	$\theta_{\text{зак}} \geq 60$	69,0
5	Метацентрична висота, м	$h \geq 0,15$	4,576
6	Площа діаграми до кута крену 30° , м·рад	$S_{30} \geq 0,055$	0,7085
7	Площа діаграми до кута крену 40° , м·рад	$S_{40} \geq 0,09$	1,2145
8	Площа між кутами крену 30 і 40°	$S_{30-40} \geq 0,03$	0,5060

ВИСНОВКИ.

Наведені в табл. 2.2 значення критерію погоди, параметрів діаграми статичної остійності та метацентричної висоти свідчать, що спроектоване судно відповідає всім вимогам Правил Регістру України з остійності.

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

02

					24.ДР.6.135.4111.07.ПЗ.03			
Змн.	Арк.З	№ докум.	Підпис№	Дата				
					Набір корпусу за Правилами класифікаційного товариства і перевірка загальної міцності	Літ.	Арк.Дата	Аркушів
Студент	Головинський Д.О.						Арк.	
Консульт.	Пашенко Ю.М.					НУК		
Керівник	Кротов О.І.							
Зав. кафедр.	Некрасов В О							

З урахуванням основних положень розбиття корпусу проекту на відсіки і визначеної величини шпацій в розд.1, нижче визначаються довжини цих відсіків. Нормальна шпація в середній частині судна визначалася за формулою:

$$a_0 = 0,002L + 0,48 \text{ (м)}; a_0 = 0,002 \cdot 234,3 + 0,48 = 0,94 \text{ (м)} [4].$$

Прийнята шпація середньої частини корпусу довжиною 900 мм. Шпація у форпіку і ахтерпіку прийнята рівною 600 мм, а в МВ – 800 мм.

1.Довжина ахтерпіку, форпіку та МВ:

$$L_{\text{ахт}} = 23 \cdot 0,6 = 13,8 \text{ м.}$$

$$L_{\text{фор}} = 19 \cdot 0,6 = 11,4 \text{ м}$$

03

$$L_{\text{МВ}} = 32 \cdot 0,8 = 25,6 \text{ м}$$

2.Довжина танкової частини:

$$L_{\text{Т}} = L_{\text{мах}} - (L_{\text{ахт}} + L_{\text{фор}} + L_{\text{МВ}}) = 242,33 - (13,8 + 11,4 + 25,6) = 191,53 \text{ м}$$

3. Довжина першого, другого танку і відстійної цистерни:

$$L_{\text{Т1}} = 30 \cdot 0,7 = 21 \text{ м}$$

$$L_{\text{Т2}} = 35 \cdot 0,74 = 25,9 \text{ м}$$

$$L_{\text{ВЦ}} = 11 \cdot 0,8 = 8,8 \text{ м}$$

4.Довжина решти вантажної частини:

$L_{\text{ВЧ}} = 191,53 - 21 - 25,9 - 8,8 = 135,8 \text{ м.}$ При довжині однієї шпації $a_0 = 900 \text{ мм}$ отримаємо 310 шпацій.

Решта вантажної частини буде поділена на 4 танки де танки 3, 4, 5, 6 будуть мати по 32 шпації.

3.3 Вибір марки та категорії сталі

Для виготовлення елементів корпусу використовуються суднобудівні сталі категорії А, В, D, Е, F з межею плинності $R_{EH} = 235 \text{ МПа}$ і сталі підвищеної міцності категорії А, D, Е, F з межею плинності $R_{EH} \geq 235 \text{ МПа}$.

Для виготовлення суднового корпусу використовуємо суднобудівну сталь 10ХСНД підвищеної міцності з границею плинності $R_{eH} = 390 \text{ МПа}$ (табл. 3.1)

Таблиця 3.1 – Характеристики сталі

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

№	Марка сталі	R_{EH} , МПа	Коефіцієнт використання механічних властивостей, η	Нижня межа температури, °С.	Відносне подовження, %.
1	10ХСНД	390	0,68	-40	16

Гарантована (нормативна) межа плинності сталі при розтягуванні σ_n визначається у вигляді:

$$\sigma_n = 235/\eta = 345,6 \text{ МПа}$$

$$\tau_n = 0,57 \cdot \sigma_n = 0,57 \cdot 345,6 = 197,0 \text{ МПа.}$$

03

3.4 Креслення обводів мідель шпангоута

Спочатку виконують два перерізи: справа - по вантажному танку, зліва - по машинному відділенню.

Висота подвійного дна приймаємо $= 2 \text{ м.}$

Ширину подвійного борту приймаємо $b = 2,75 \text{ м/}$

Висота танка $H_T = D - h = 21,0 - 2,0 = 18,0 \text{ м.}$

Ширина танка $B_T = B - b = 41,2 - 2,75 = 38,45 \text{ м.}$

3.5. Розрахункові навантаження на корпус судна з боку моря

3.5.1. Статичні навантаження

Статичні навантаження, діючі на корпус судна з боку моря, розраховуються за формулою: $P_{st} = 10 \cdot Z_i$,

де Z_i – відстань від КВЛ до точок прикладення навантаження.

Для днища:

$$P_{st} = 10 \cdot Z_{дн} = 10 \cdot d = 10 \cdot 12,0 = 120,0 \text{ кПа}$$

Для другого дна:

$$P_{st} = 10 \cdot Z_{2дн} = 10 \cdot d = 10 \cdot (12,0 - h) = 10 \cdot (12,0 - 2) = 100,0 \text{ кПа}$$

Для КВЛ і ВП: $P_{st} = 0 \text{ кПа}$

3.5.2. Хвильові навантаження

А) для точок нижче КВЛ:

$$P_w = P_{w0} - 1,5 \cdot C_w \cdot Z_i/d \text{ [кПа]}, \text{ де } P_{w0} \text{ – хвильовий тиск на рівні КВЛ,}$$

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{w0} = 5 \cdot C_w \cdot a_v \cdot a_x, \text{ де}$$

$$C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100}\right)^{\frac{3}{2}} = 10,75 - \left(\frac{300 - 242,33}{100}\right)^{\frac{3}{2}} = 10,1$$

a_v - параметр, враховуючий швидкість судна;

$v_s = 15$ вузлів;

$$a_v = \frac{0,8 \cdot v_0 \cdot \left(\frac{L}{10^3} + 0,4\right)}{\sqrt{L}} + 1,5 = \frac{0,8 \cdot 15 \cdot (0,2423 + 0,4)}{\sqrt{242,33}} + 1,5 = 1,995 \text{ м/с}^2$$

$a_x = k_x \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{x_1}{L}\right) \geq 0,267$, де $k_x = 0,8$ для поперечних перерізів у ніс від міделя;

$x_1 = 0,3 \cdot L$ – відстань розглядуваного поперечного перерізу від ближнього перпендикуляра, м.

$$a_x = 0,8 \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{0,3 \cdot 242,33}{242,33}\right) = 0,32 \geq 0,267 \text{ м/с}^2 \cdot 0,3$$

Результат множення $a_v \cdot a_x$ необхідно брати не менше 0,6: $a_v \cdot a_x = 1,995 \cdot 0,32 = 0,638$.

Тепер зможемо вичислити P_{w0} :

$$P_{w0} = 5 \cdot 10,1 \cdot 1,995 \cdot 0,32 = 32,23 \text{ кПа}$$

Визначаємо хвильовий тиск.

А) для точок нижче КВЛ:

Для днища корпусу при $Z_i = d = 12,0$ м:

$$P_w = 32,23 - 1,5 \cdot 10,1 \cdot (12,0/12,0) = 17,08 \text{ кПа.}$$

Для 2-го дна при $Z_i = 10$ м:

$$P_w = 32,23 - 1,5 \cdot 10,1 \cdot (10/12,0) = 19,6 \text{ кПа.}$$

Для КВЛ при $Z_i = 0$ м:

$$P_w = 32,23 - 1,5 \cdot 10,1 \cdot (0/12,0) = 32,23 \text{ кПа.}$$

Б) для точок вище КВЛ:

$$P_w = P_{w0} - 7,5 \cdot a_x \cdot Z_i \geq P_{min} = 0,03 \cdot L_{max} + 5 \text{ кПа.}$$

$$P_{min} = 0,03 \cdot L = 0,03 \cdot 242,33 + 5 = 12,26 \text{ кПа.}$$

В) для ВП при $Z_i = D - d = 22,0 - 12,0 = 9$ м.

$$P_w = 32,23 - 7,5 \cdot 0,32 \cdot 9 = 10,63 \text{ кПа.}$$

3.5.3. Сумарне навантаження на корпус з боку моря.

Розрахунковий тиск [4]:

– для точок прикладення навантаження, розташованих нижче ватерлінії:

$$P = P_w + P_{st}, [\text{кПа}];$$

– для точок прикладення навантаження, розташованих вище ватерлінії:

$$P = P_w, [\text{кПа}];$$

– для днища:

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P = P_w + P_{st} = 17,08 + 120,0 = 137,08 \text{ кПа};$$

— для 2-го дна:

$$P = P_w + P_{st} = 19,6 + 100,0 = 119,6 \text{ кПа}$$

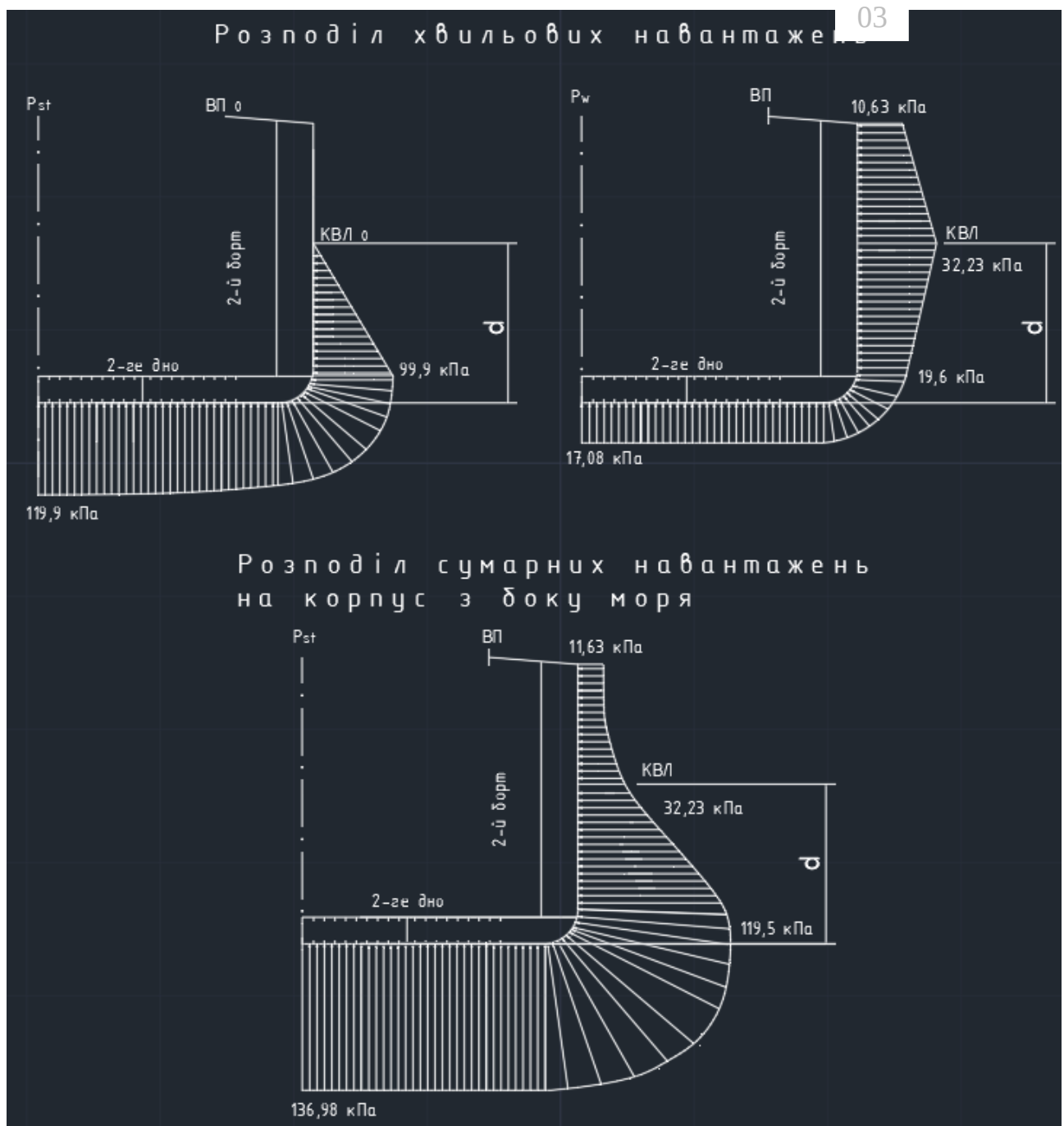
— для КВЛ:

$$P = P_w = 32,23 \text{ кПа}$$

— для ВП:

$$P = P_w = 10,63 \text{ кПа}$$

На рис. 3.2 наведено розподіл хвильових і сумарних навантажень.



					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рис. 3.1 Розподіл хвильових сумарних навантажень

3.6. Стандарт загальної міцності

Знаходження необхідних характеристик: моменту інерції, моменту опору корпусу судна:

$$M_{SW} = \pm 76 C_W B L^2 (C_B + 0,7) \cdot 10^{-3} = \pm 76 \cdot 10,1 \cdot 41,37 \cdot 242,33^2 \cdot (0,829 + 0,7) \cdot 10^{-3} = \pm 2,8513 \cdot 10^6 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

де згинальні моменти, які викликають перегин корпусу судна, вважаються додатними, а прогин – від’ємними:

Хвильовий згинальний момент, який викликає перегин корпусу судна, ⁰³ визначається за формулою [4]:

$$M_{BV} = 190 C_W B L^2 C_B 10^{-3} = 190 \cdot 10,1 \cdot 41,37 \cdot 242,33^2 \cdot 0,829 \cdot 10^{-3} = 3,86482 \cdot 10^6 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Хвильовий згинальний момент, який викликає прогин корпусу судна, знаходиться за формулою:

$$M_{PB} = -10 C_W B L^2 (C_B + 0,7) \cdot 10^{-3} = -110 \cdot 10,1 \cdot 41,37 \cdot 242,33^2 \cdot (0,829 + 0,7) \cdot 10^{-3} = -4,1269 \cdot 10^6 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

де $C_W = 10,1$ - хвильовий коефіцієнт; $C_B = 0,829$ - коефіцієнт загальної повноти судна.

Момент опору поперечного перерізу корпусу судна (для палуби і днища) в середній частині повинен бути не менший за:

$$W = \frac{M_{\max}^{\Sigma}}{\sigma} \cdot 10^3, \text{ м}^3$$

де $M_{\max}^{\Sigma} = |M_{SW} + M_W|$ - розрахунковий згинальний момент, кН·м, у розглядуваному перерізі судна, який дорівнює максимуму абсолютної величини алгебраїчної суми складових моментів M_{SW} і M_W

σ – допустимі напруження, МПа : $\sigma = 257,35$, МПа .

Сумарний згинальний момент :

– при прогині:

$$M_{PB}^{\Sigma} = |M_{SW} + M_{PB}| = |2,8513 \cdot 10^6 + 4,1269 \cdot 10^6| = 6,9782 \cdot 10^6 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

– при перегині :

$$M_{BV}^{\Sigma} = |M_{SW} + M_{BV}| = |2,8513 \cdot 10^6 + 3,86482 \cdot 10^6| = 6,71612 \cdot 10^6 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W = \frac{6,9782 \cdot 10^6}{257,35} \cdot 10^3 = 27,1155 \cdot 10^6 \text{ м}^3$$

Момент опору поперечного перерізу корпусу в середній частині судна (для палуби і днища) повинен бути не менший за:

$$W_{\min} = C_W B L^2 (C_B + 0,7) \eta \cdot 10^{-6} = 10,1 \cdot 41,37 \cdot 242,33^2 \cdot (0,829 + 0,7) \cdot 0,68 \cdot 10^{-6} = 25,5 \text{ м}^3;$$

$$W = 27,1155 \cdot 10^6 \text{ м}^3 > W_{\min} = 25,5 \text{ м}^3.$$

Момент інерції поперечного перерізу корпусу в середній частині судна повинен бути не менший за:

$$I_{\min} = 3 C_W B L^3 (C_B + 0,7) \cdot 10^{-8} = 3 \cdot 10,1 \cdot 41,37 \cdot 242,33^3 \cdot (0,829 + 0,7) \cdot 10^{-8} = 272,74 \text{ м}^4.$$

Одержані величини W і I використовуються для порівняння з геометричними характеристиками еквівалентного бруса, які розраховані для міделевого перерізу корпусу судна.

3.7. Проектування та конструювання зовнішньої обшивки.

3.7.1. Проектування зовнішньої обшивки днища

Розрахункова схема пластини зовнішньої обшивки днища (рис. 3.2).

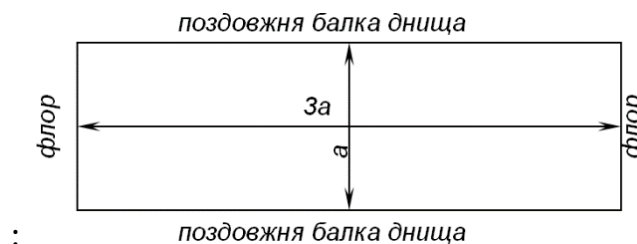


Рис. 3.2

Товщина зовнішньої обшивки днища відповідно до умов міцності :

$$S = m \cdot a \cdot k \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \cdot \sigma_n}} + \Delta S, \text{ мм},$$

де $m = 15,8$ – коефіцієнт згинального моменту; $a = 0,8$ – шпация, м; $k = 1,2 - 0,5a/b \leq 1,0$ – коефіцієнт, що враховує співвідношення сторін пластини, $k = 1$; $P = 136,98$ – розрахункове навантаження на зовнішню обшивку днища, кПа; $k_{\sigma} = 0,6$ – коефіцієнт допустимих напружень для днища з поздовжньою системою набору; σ_n – нормативна межа плинності за нормальними напруженнями, МПа: $\sigma_n = \frac{235}{\eta} = 345,6$ МПа; $\Delta S = i(T - 12) = 0,2 \cdot (24 - 12) = 2,4$ мм – додаток на знос та корозію; $i = 0,2$ – швидкість корозії, мм/рік; $T = 24$ – середній строк служби судна, роки.

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S = 15,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{137,08}{0,6 \cdot 345,6}} + 2,4 = 12,67 \text{ мм.}$$

Приймаю $S_d = 13 \text{ мм}$

Товщина зовнішньої обшивки днища відповідно до умов стійкості :

$$k \sigma_c \leq \sigma_{cr}; k=1 - \text{коефіцієнт запасу стійкості,}$$

де σ_c – стискальні напруження в днищі від загального поздовжнього вигину, МПа:

$$\sigma_c = \frac{M_{sw} + M_w}{I} \cdot z_{дн} \cdot 10^{-3}, \text{ МПа,}$$

де $M_{ВВ}^{\Sigma} = 67,1612 \cdot 10^5$ – сумарний згинальний момент на тихій воді при перегині, кН·м;

$I = 272,74 \text{ м}^4$ – момент інерції поперечного перерізу корпусу судна, м^4 .

$$z_{дн} = e = (0,34 + 0,06 \cdot L \cdot 10^{-2}) \cdot D = (0,34 + 0,06 \cdot 242,33 \cdot 10^{-2}) \cdot 21,0 = 10,18 \text{ м:}$$

$$\sigma_c = \frac{67,1612 \cdot 10^5 \cdot 10,18 \cdot 10^{-3}}{272,74} = 254,41 \text{ МПа.}$$

Критичні напруження $\sigma_{cr} = k \sigma_c$, МПа визначаються за умови стійкості пластин зовнішньої обшивки, при цьому $k=1,0$ – коефіцієнт запасу стійкості для пластин

$$S = b \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854 \cdot n}} + \Delta S, \text{ мм} = 0,8 \cdot \sqrt{\frac{254,41}{0,1854 \cdot 4}} = 18,52, \text{ мм,}$$

де $n = 4$; $b = 0,8$ - бік пластини, що сприймає нормальні стискальні напруження, м (рис. 3.3).

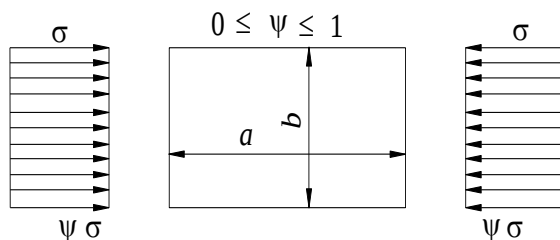


Рис. 3.3

На рис.3.3 $\psi = 1$ – для днища.

$$\sigma_{кр} = k \cdot \sigma_c + 1 = 1 \cdot 254,41 + 1 = 255,41$$

При відношенні $\sigma_{cr}/R_{eH} > 0,5$ розрахункова формула ейлеревих напружень буде мати вид:

$$\sigma_e = \sigma_{кр} = 255,41, \text{ МПа}$$

$$k \sigma_c \leq \sigma_{cr} = 254,41 \leq 255,41 - \text{стійкість забезпечена.}$$

3.8. Набір днищового перекриття

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Набір подвійного дна розташований між настилом другого дна і зовнішньою обшивкою. Опорним контуром днищового перекриття є два борти і дві суміжні поперечні перебірки. Основний набір – це поздовжні балки днища і другого дна, які розташовані на кожній шпації. Суцільні флори розташовані через 3 шпації. Під поперечними перебірками розміщуються водонепроникні флори. У діаметральній площині знаходиться вертикальний кіль. Відстань між вертикальним кілем і днищевим стрингером дорівнює 4,5м.

Схема перекриття наведено на рис. 3.4:

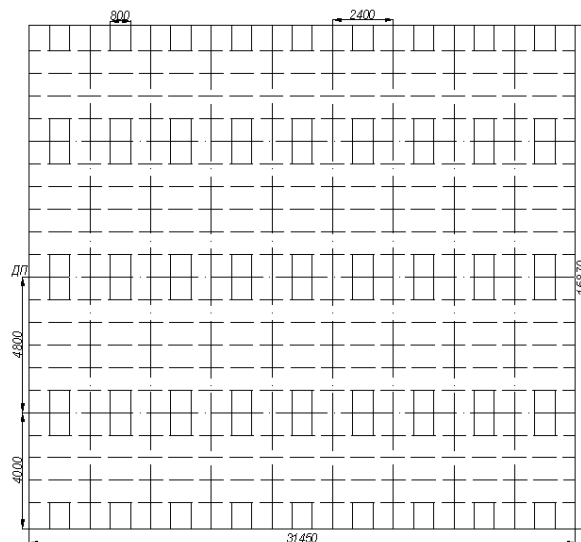


Рис. 3.4

3.8.1. Проектування суцільних флорів

Суцільний флор має таку висоту у діаметральній площині, як і вертикальний кіль $h = 2$ м.

Товщина суцільного флора відповідно до умов міцності [4]:

$$S = \alpha \cdot k \cdot a \sqrt{\eta} + \Delta S, \text{ мм}$$

$$\text{де } \alpha = 0,023L + 5,8 = 0,023 \cdot 242,33 + 5,8 = 11,37 ;$$

$$k = k_1 \cdot k_2 = 1,25 \cdot 0,93 = 1,2 ;$$

$$\alpha = 0,8 \text{ – відстань між ребрами жорсткості ,мм ;}$$

$$\eta = 0,68 \text{ – коефіцієнт використання механічних властивостей матеріалу ;}$$

$$\Delta S = 2,4 \text{ – додаток на знос і корозію, мм ;}$$

$$S = 11,37 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{0,7} + 2,4 = 11,53 \text{ мм}$$

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Товщина суцільного флора. Приймаю $S_{\text{С.Фл.}}=12$ мм

3.8.2. Проектування вертикального кіля

- товщина ВК відповідно до умов міцності :

$$S_{\text{БК}} = \alpha_k h \frac{h}{h_0} \cdot \sqrt{\eta} + \Delta S, \text{ мм} \quad 03$$

де $\alpha_k = 0,03L + 8,3 = 0,03 \cdot 188,82 + 8,3 = 15,56 \leq 11,2$

$h_{\phi} = 1$ – фактична висота ВК ,м

$\eta = 0,68$ – коефіцієнт використання механічних властивостей матеріалу ;

$\Delta S = 2,4$ – додаток на знос та корозію ,мм.

$$S = 15,56 \cdot 0,99 \cdot \frac{0,99}{1} \cdot \sqrt{0,68} + 2,4 = 14,97 \text{ мм}$$

Товщина вертикального кіля. Приймаю $S_{\text{БК}} = 15$ мм

- товщина ВК відповідно до умов непроникності :

$$S = m \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \cdot \sigma_n}} + \Delta S, \text{ мм}$$

де $m = 15,8$ – коефіцієнт згинального моменту

$a = 0,8$ – шпация ,м

$k = 1,2 - 0,5a/b = 1,2 - 0,5 \cdot 0,5/0,75 = 0,867$

$P = \rho g z_i + P_k = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 20,49 + 15 = 221,03$ - розрахунковий тиск ,кПа

$z_i = D - h_{\text{Ид}} + 0,75h_{\text{Ид}} = 20,99 - 2 + 0,75 \cdot 2 = 20,49$ м

$k_{\sigma} = 0,6$ – коефіцієнт допустимих напружень

$\Delta S = 2,4$ мм

$$S = 15,8 \cdot 0,8 \cdot 0,867 \cdot \sqrt{\frac{221,03}{0,6 \cdot 345,6}} + 2,4 = 13,71 \text{ мм}$$

Забезпечити стійкість вертикального кіля можна, якщо розмістити посередині висоти горизонтальне ребро жорсткості. Товщина вертикального кіля повинна бути на 1мм більша від товщини суцільного флора і не менша, ніж :

$$S_{\text{min}} = S_{\text{С.Фл.}} + 1 = 12 + 1 = 13 \text{ мм}$$

$$S_{\text{min}} = 0,035L + 5 = 0,035 \cdot 242,33 + 5 = 13,5 \text{ мм}$$

$$S_{\text{min}} = 0,025L + 7 = 0,025 \cdot 242,33 + 7 = 13,05 \text{ мм}$$

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Посередині висоти вертикального кіля розміщуємо ребро жорсткості, яке необхідно розрахувати і перевірити на згин :

- момент опору поперечного перерізу балки набору катаного профілю :

$$W = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_{\sigma} \cdot \sigma_n} \cdot \omega_k, \text{см}^3$$

де $P=119,5$ кПа

$$z_i = D - h_{\text{Ид}} + 0,5h_{\text{Ид}} = 20,99 - 2 + 0,5 \cdot 2 = 19,99 \text{ м}$$

$a=0,5h_{\text{Ид}}=1$ – відстань між РЖ та днищем ,м; $\ell=0,8$,м; $m=12$; $k_{\sigma}=0,75$; $\sigma_n=345,6$ МПа

$$W' = \frac{119,5 \cdot 1 \cdot 0,8^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,75 \cdot 345,6} = 24,5 \text{ см}^3$$

$$\alpha_k = 0,07 + 6/W' = 0,07 + 6/24,5 = 0,31$$

$$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,31 \cdot 2,4 = 1,74$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 24,5 \cdot 1,74 = 42,63 \text{ см}^3$$

- мінімальна будівельна товщина стінки ребра жорсткості:

$$S_{\min} = 0,025L + 5,5 = 0,025 \cdot 188,82 + 5,5 = 11,55 \text{ мм}$$

Ребро жорсткості. вертикального кіля. Приймаю 20б ($h=200$ мм; $S=12$ мм; $b=46$ мм; $f=31,36$ см²; $W=293$ см³)

3.8.3.Проектування днищевих стрингерів і поздовжніх балок днища.

Товщина днищєвого стрингєра повинна бути не менша, ніж товщина суцільного флєра. Приймаємо $S_{\text{д.с}}=12$ мм.

- момент опору поздовжніх балок днища відповідно до умов міцності :

$$W = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_{\sigma} \cdot \sigma_n} \cdot \omega_k, \text{см}^3$$

де $P=136,98$ – розрахунковий тиск для балок днища ,кПа

$a=0,8$ – шпация ,м; $\ell=2,4$ – прогін балки ,м; $m=12$; $k_{\sigma}=0,45$; $\sigma_n=345,6$ МПа

$$W' = \frac{136,98 \cdot 0,8 \cdot 2,4^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,45 \cdot 345,6} = 338,2 \text{ см}^3 > 200 \text{ см}^3$$

$$\alpha_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right) = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{338,2} \right) = 0,086$$

$$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,086 \cdot 2,4 = 1,2$$

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ. 03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W=W' \cdot \omega_k = 338,2 \cdot 1,2 = 405,84 \text{ см}^3$$

- мінімальна будівельна товщина стінки балки :

$$S_{\min} = 0,025L + 5,5 = 0,025 \cdot 242,33 + 5,5 = 11,55 \text{ мм}$$

Приймаю f_{22712} ($h=220\text{мм}$; $S=11,55\text{мм}$; $b=70\text{мм}$; $f=37,5\text{см}^2$; $W=464\text{см}^3$);

3.8.4. Проектування поздовжніх балок II дна

- момент опору поздовжніх балок II дна відповідно до умов міцності [4]:

$$W = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_\sigma \cdot \sigma_n} \cdot \omega_k, \text{ см}^3$$

де $P=119,5$ – розрахунковий тиск для балок II дна ,кПа

$a=0,8$ м; $l=2,4$ м; $m=12$; $k_\sigma=0,6$; $\sigma_n=345,6$ МПа

$$W' = \frac{119,5 \cdot 0,8 \cdot 2,4^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,6 \cdot 345,6} = 221,29 \text{ см}^3$$

$$\alpha_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right) = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{221,29} \right) = 0,096$$

$$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,096 \cdot 2,4 = 1,23$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 221,29 \cdot 1,23 = 272,18 \text{ см}^3$$

- мінімальна будівельна товщина стінки балки :

$$S_{\min} = 0,025L + 5,5 = 0,025 \cdot 242,33 + 5,5 = 11,55 \text{ мм}$$

Приймаю f_{30812} ($h=300\text{мм}$; $S=11,55 \text{ мм}$; $b=88\text{мм}$; $f=55 \text{ см}^2$; $W=362\text{см}^3$).

3.10. Перевірка загальної поздовжньої міцності

Після визначення розмірів в'язей конструктивного мідель-шпангоута танкера викреслюється розрахункова схема еквівалентного бруса, до якої входять всі поздовжні в'язі корпусу, які беруть участь в загальному поздовжньому згині. Визначені геометричні характеристики порівнюються з мінімальними.

На рисунку рис 3.6 зображений мідель-шпангоут.

В табл. 3.2 наведено результати розрахунків розмірів в'язей мідель-шпангоута.

					03	Арк.
					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

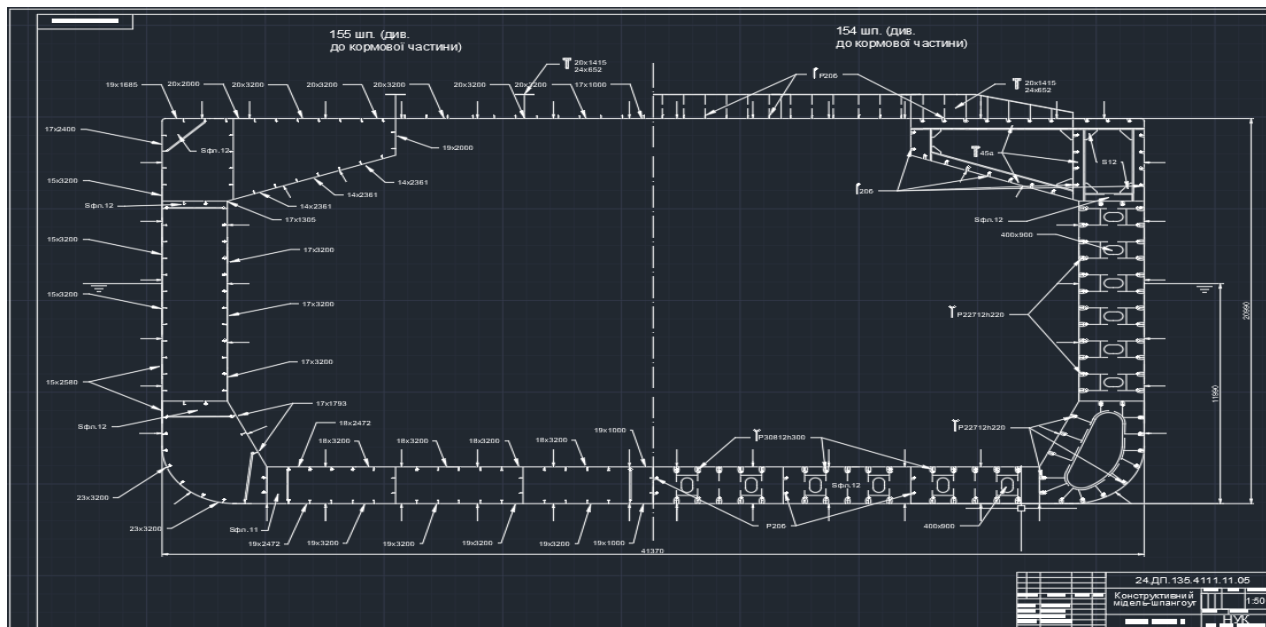


Рис. 3.5

Таблиця 3.2

№	Найменування і розмір, (мм)	Площа в'язи F_i , см ²	Відстань від осі порівняння Z_i , м	Статичний момент $F_i \cdot Z_i$, см ² ·м	Переносний момент інерції $F_i \cdot Z_i^2$, см ⁴ ·м ²	Власний момент інерції i_{0i} , см ⁴ ·м ²
1	Ширстрек 17x2400	408,00	19,79	8074,32	159790,79	75,92
2	Обшивка борту 15x3200	480,00	16,99	8155,20	138556,848	0
3	Обшивка борту 15x3200	480,00	13,78	6614,40	91146,43	0
4	Обшивка борту 15x3200	480,00	10,58	5078,40	53729,47	119,42
5	Обшивка борту 15x2580	387,00	7,39	2859,93	21134,88	0
6	Обшивка борту 15x2580	387,00	4,80	1857,60	8916,48	0
7	Скуловий лист 23x3200	736,00	2,22	1633,92	3627,30	0
8	Скуловий лист 23x3200	736,00	0,00	0,00	0,00	0
9	Обшивка днища 19x2472, 19x3200 (4)	2901,68	0,00	0,00	0,00	0
10	Горизонтальний кіль 19x1000	190,00	0,00	0,00	0,00	0
11	Друге дно 19x1000	190,00	2,00	380,00	760,00	0
12	Вертикальний кіль 19x2000	380,00	1,00	380,00	380,00	43,33
13	Р.Ж. вертикального кіля Р206 (2)	62,72	1,00	62,72	62,72	454
14	Обшивка другого дна 18x3200 (4)	2304,00	2,00	4608,00	9216,00	183,28
15	Обшивка другого дна 18x2472	444,96	2,00	889,92	1779,84	183,28

Продовження табл. 3.2						
16	Настил скулової цистерни 17х1793	304,81	2,89	880,90	2545,80	59,28
17	Настил скулової цистерни 17х1793	304,81	4,68	1426,51	6676,07	256,43
18	Обшивка другого борту 17х3200	544,00	7,18	3905,92	28044,50	224,06
19	Обшивка другого борту 17х3200	544,00	10,38	5646,72	58612,95	58,84
20	Обшивка другого борту 17х3200	544,00	13,58	7387,52	100322,52	240,4
21	Обшивка другого борту 17х1305	221,85	15,83	3511,88	55593,14	564,13
22	Стрінгер 19х1685 (2)	640,30	20,99	13439,89	282103,43	118,57
23	Р.Ж. стрінгера Р206 (4)	48,00	20,90	1003,20	20966,88	439,83
24	Р.Ж. 2 дна Р30812 (17)	935,00	1,91	1785,85	3410,97	247,42
25	Р.Ж. днища Р22712 (17)	525,00	0,09	47,25	4,25	0
26	Р.Ж. 2 борту Р27812 (12)	375,60	11,12	4176,67	46444,59	0
27	Настил ВП 20х2000	400,00	20,99	8396,00	176232,04	0
28	Настил ВП 20х3200 (5)	3200,00	20,99	67168,00	1409856,32	0
29	Палубний стрінгер 17х1000	170,00	20,99	3568,30	74898,61	0
30	Р.Ж. ВП Р20а (14)	383,04	21,08	8074,48	170210,10	0
31	Р.Ж. підпалубної цистерни Р20а (17)	465,12	19,18	8921,00	171104,81	0
32	Комінгс підпалубної цистерни 19х2000	380,00	19,99	7596,20	151848,03	0
33	Обшивка підпалубної цистерни 21х1583	332,43	18,51	6153,27	113897,19	110,69
34	Обшивка підпалубної цистерни 21х1583	332,43	17,69	5880,68	104029,34	8,51
35	Обшивка підпалубної цистерни 21х1583	332,43	16,85	5601,44	94384,35	0
	Сума	A=21550,18		B=205166,09	C=3560666,6	

Відстань нейтральної осі від осі порівняння:

$$e = \frac{B}{A}, \text{м}$$

где $B= 205166,09$ – сума статичних моментів площ в'язей, $\text{см}^2 \cdot \text{м}$

$A= 21550,18$ – сума площ поперечних перерізів в'язей, см^2

$$e = \frac{205166,09}{21550,18} = 9,52 \text{ м}$$

Головний центральний момент інерції поперечного перерізу корпусу судна відносно нейтральної осі:

$$I_{HB}=2(C-e^2A) \cdot 10^{-4}, \text{м}^4 \quad I_{\min} \leq I_{HB}$$

де $C= 3560666,64$ – сума переносних та власних моментів інерції поперечних перерізів в'язей, $\text{см}^2 \cdot \text{м}^2$; $e=9,52$ м; $A= 21550,18$ см^2 ; $I_{HB}=2 \cdot (3560666,64 - 9,52^2 \cdot 21550,18) \cdot 10^{-4}=321,51$ м^4 ; $I_{\min} \leq I_{HB}=272,74 < 321,51$ см^4 – жорсткість корпусу забезпечена.

Моменти опору поперечних перерізів корпусу [4]:

– момент опору поперечного перерізу ВП:

$$W_{ВП} = \frac{I_{HO}}{D-e} = \frac{321,51}{20,99-9,52} = 27,12 \text{ м}^3,$$

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ. 03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де D – висота борту судна, 20,99 м;

$W_{min} \text{ м}^3 \leq W_{BII} = 25,5 \leq 27,12 \text{ м}^3$ – міцність корпусу забезпечена.

– момент опору поперечного перерізу днища:

$$W_{дн} = I_{нв}/e = 321,51/9,52 = 33,77 \text{ м}^3$$

$W_{min} \text{ м}^3 \leq W_{BII} = 25,5 \leq 33,77 \text{ м}^3$ – міцність забезпечена [4].

ВИСНОВКИ

У даному розділі проведено опис архітектурно-конструктивного типу судна, вибір шпациї, вибір марки та категорії сталі. Визначені розрахункові навантаження на корпус судна з боку моря, розглянуто питання проектування та конструювання зовнішньої обшивки. Проведено перевірку загальної поздовжньої міцності, яка засвідчила її забезпеченість.

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Перший розділ складає визначення головних розмірів проектного танкера, розробку 3D-моделі поверхні корпусу, побудову теоретичного креслення та креслення загального розташування і проведення розрахунків елементів плавучості і початкової остійності та удиферентування проекту

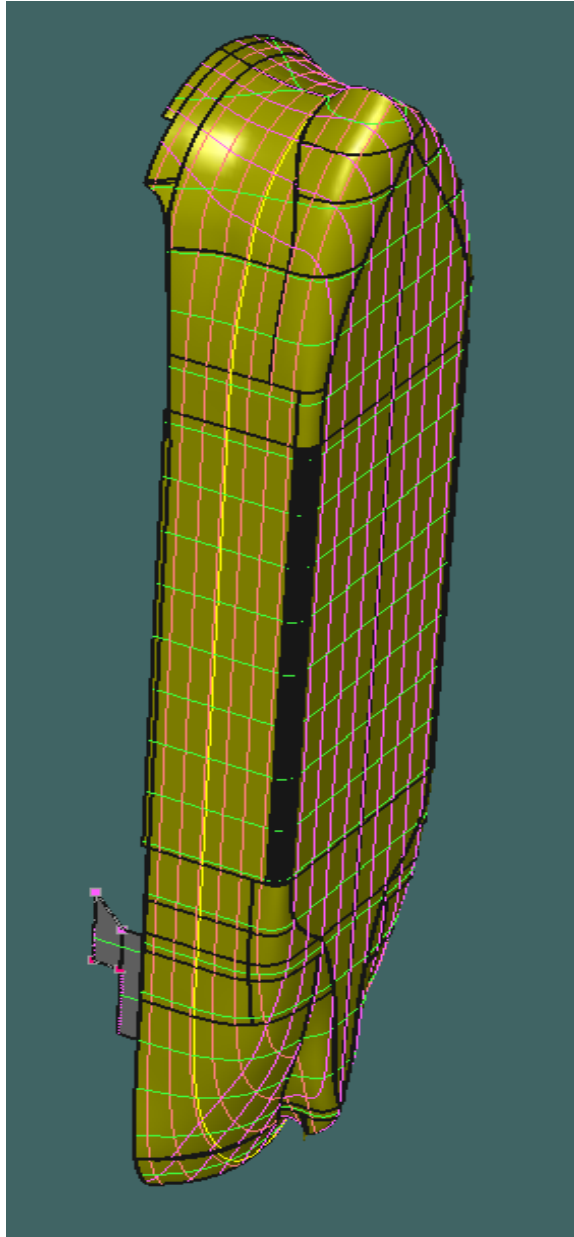
У другому розділі проведені розрахунки для перевірки вимог Правил Регістру України щодо остійності проектного судна, а саме: визначення площі парусності і її координат, амплітуди хита виці, кренувального моменту від тиску вітру і перекидального моменту а також критерію погоди і інших критеріїв остійності. Розрахунки показали, що отримані критерії відповідають вимогам Правил.

У третьому розділі проведено опис архітектурно-конструктивного типу судна, вибір шпаци, вибір марки та категорії сталі. Визначені розрахункові навантаження на корпус судна з боку моря, розглянуто питання проектування та конструювання зовнішньої обшивки. Проведено перевірку загальної поздовжньої міцності, яка засвідчила її забезпеченість.

Графічний матеріал представлений 3D – моделлю, теоретичним кресленням, гідростатичними кривими, діаграмою статичної остійності, кресленням мідель-шпангоута, і кресленням загального розташування.

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

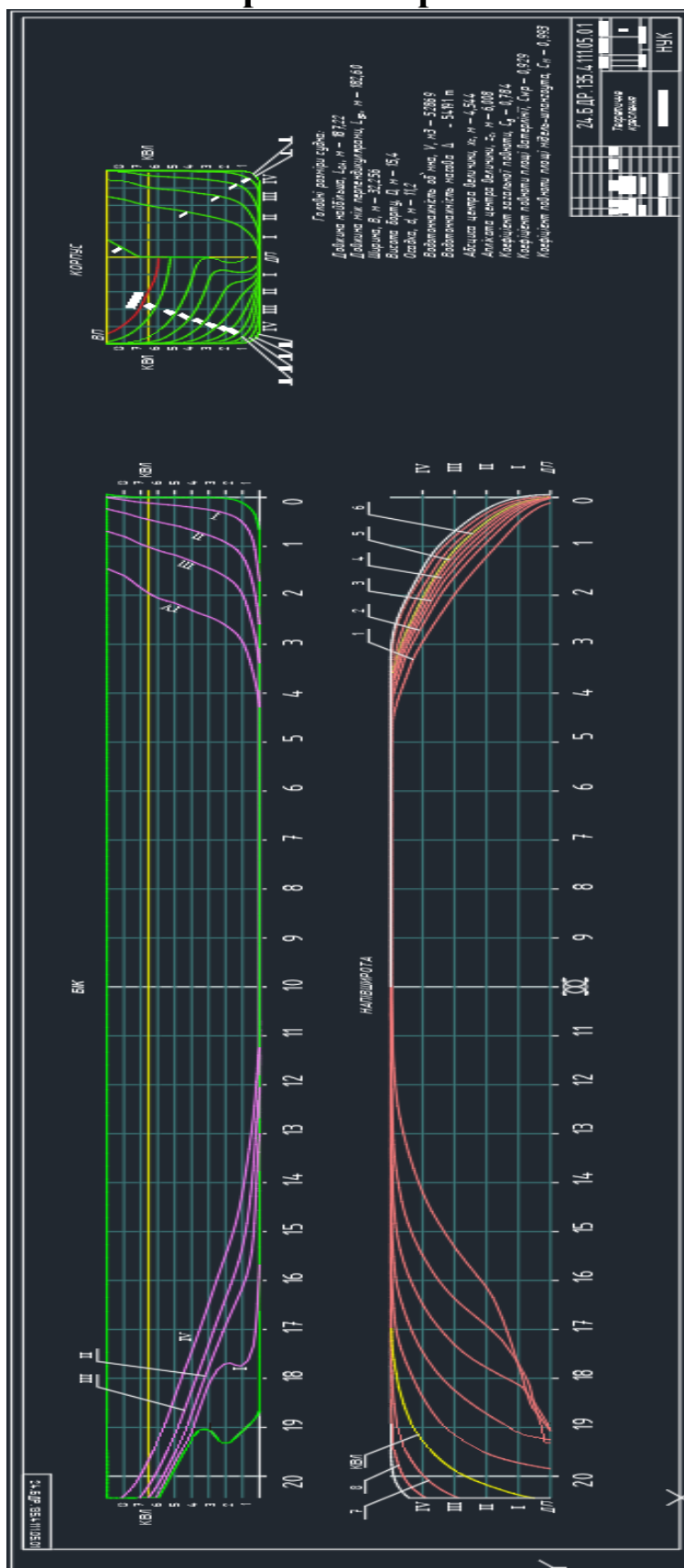
3D модель корпусу (maxsurf modeler)



					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.()	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток 2

Теоретичне креслення

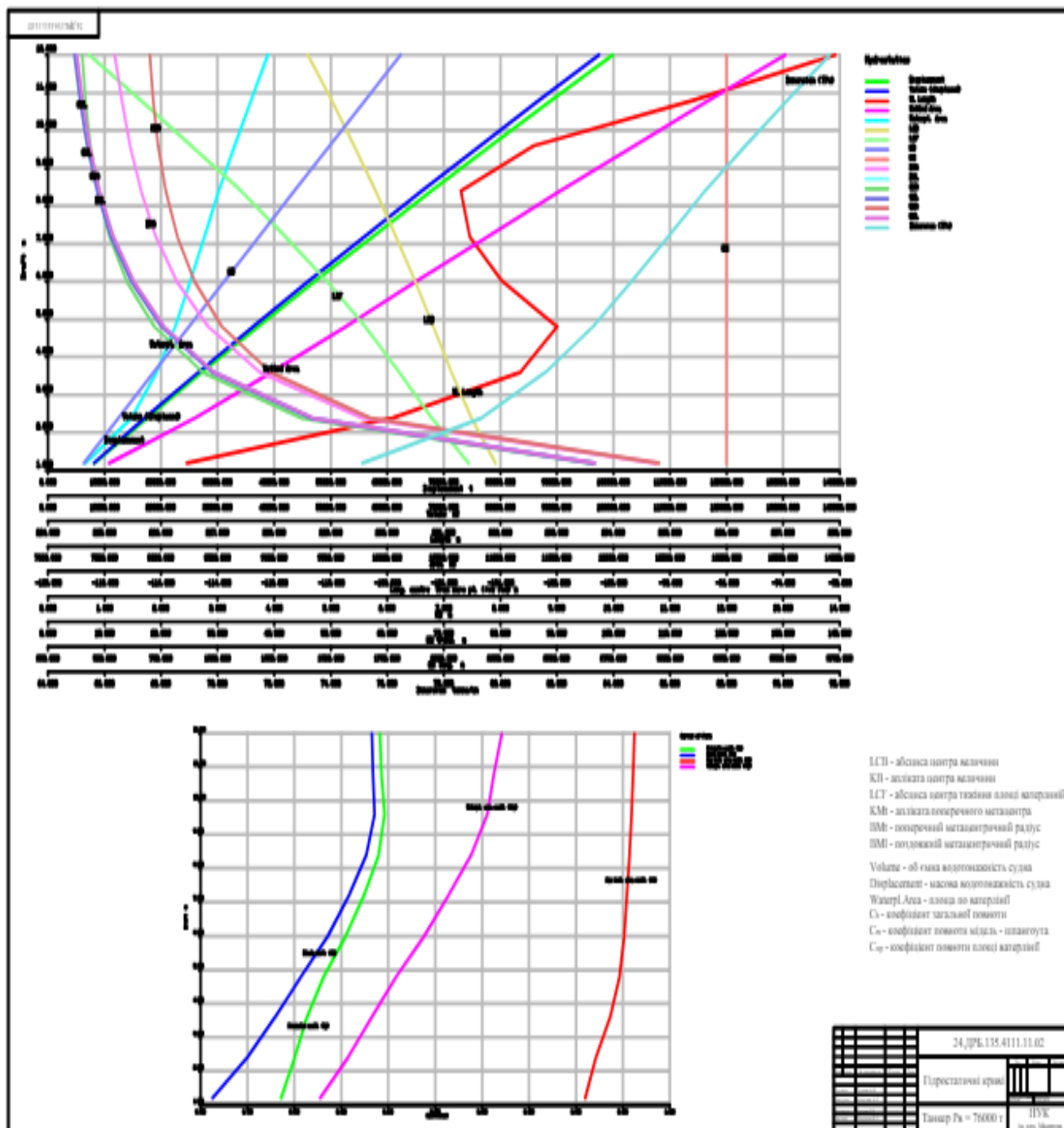


Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

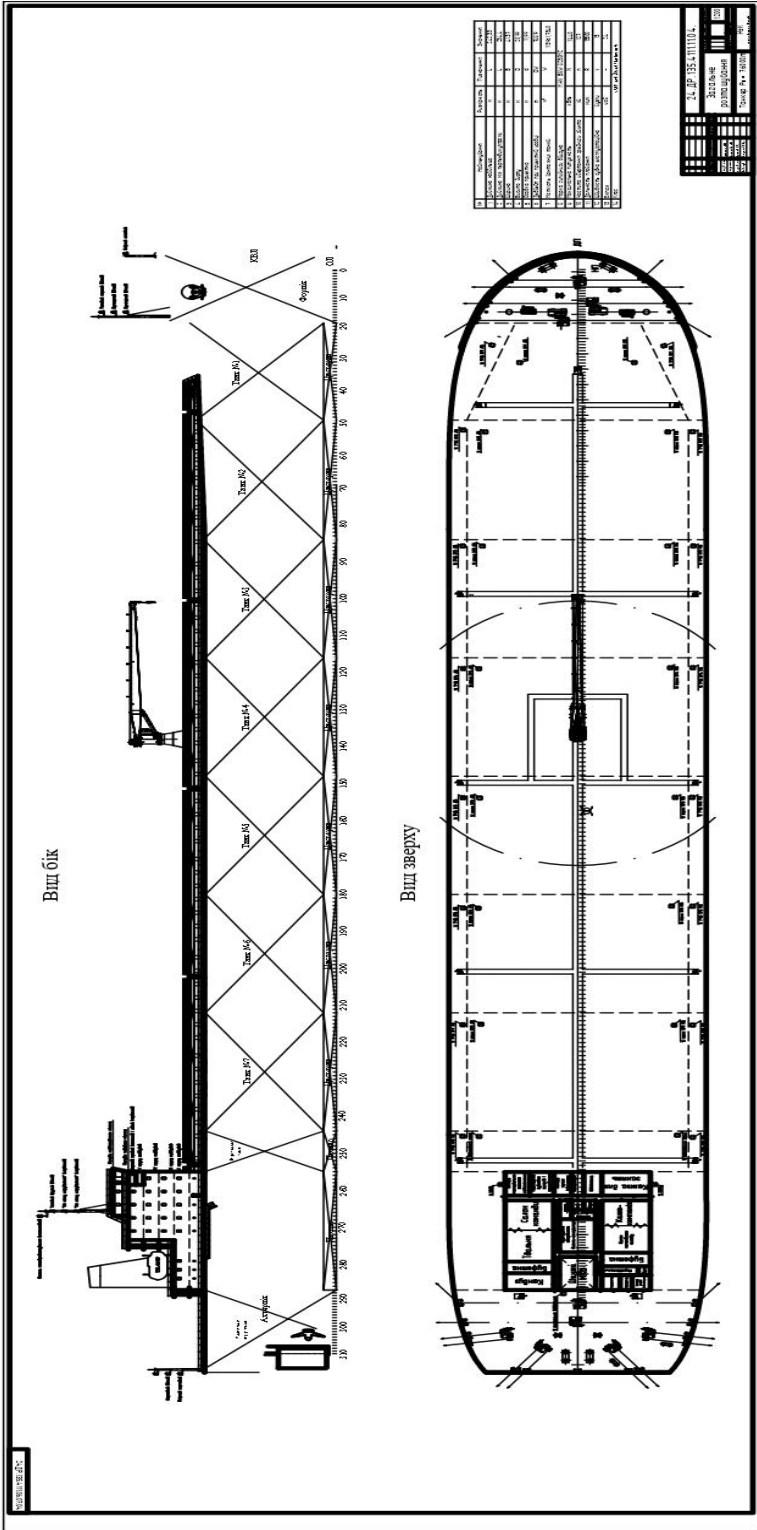
24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.

Арк.

Гідростатичні криві



Креслення загального розташування



Список використаних джерел

1. Кротов О.І., Голіков В.І., Єганов О.Ю., Бондаренко О.В. Проектування морських транспортних суден. Навчальний посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 156 с.
2. Maxsurf Enterprise V8i, Bentley Engineering, 2013.
3. Горбов В.М., Кот В.П. Енциклопедія суднової енергетики: підручник – Миколаїв: НУК, 2013. – 607 с.
4. Правила класифікації та побудови морських суден. Регістр судноплавства України. Т 1 – 2. – Київ, 2020.

					24.ДР.6.135.4111.7.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		